
DIPLOMARBEIT

Herr

Milan Obradovic

Wetterprognoseunterstützte Regelung der Gebäudeklima- tisierung

Innsbruck, 2013

DIPLOMARBEIT

Wetterprognoseunterstützte Regelung der Gebäudeklima- tisierung

Autor:

Milan Obradovic

Studiengang:

Maschinenbau – Spezialisierung Mechatronik

Seminargruppe:

KM09s2FA

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Kretzschmar

Zweitprüfer:

Dipl.-Ing. Olivier Pol

Einreichung:

Mittweida, 30.10.2013

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2013

Bibliografische Beschreibung:

Obradovic, Milan:

Wetterprognoseunterstützte Regelung der Gebäudeklimatisierung– Analyse der Einsparungsmöglichkeiten bezüglich Kosten und Umwelt. – 2013. – 11 , 64 , 2

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Diplomarbeit, 2013

Referat:

Nachhaltigkeit und Effizienzsteigerung spielen in der Gebäudeklimatisierung eine immer größere Rolle, und es wird immer schwieriger, komplett neue, bessere, energetisch wertvolle Systeme zu entwickeln. Deswegen wird daran gearbeitet, bestehende Systeme und Prozesse weiter zu optimieren. Im Bereich der Regelungstechnik besteht ein erhebliches Optimierungspotenzial, insbesondere in Bezug auf die Nutzung von Wetterprognosen. Ziel dieser Arbeit ist es, eine Prozessoptimierung zu untersuchen, welche Wetterprognosegesteuerte Gebäudeklimatisierung genannt wird. Die Verwendung aktueller Wetterdaten wie die Außentemperatur für witterungsgeführte Regelungen von Gebäudeheizung, -kühlung und -klimatisierung ist mittlerweile in der Gebäudetechnik Standard. Anlagen, die für die Regelung auch Wetterprognosen verwenden, gibt es bisher jedoch nur vereinzelt und mehr als Versuchsanlagen. Der große Unterschied zwischen der WPR (Wetterprognosegestützten Regelung) und der „Standard“-Gebäuderegulation liegt darin, dass bei der Standard-Regelung die Außenlufttemperatur als Regelgröße der GLT (Gebäudeleittechnik) dient, die GBK (Gebäudeklimatisierung) reagiert dann abhängig von dieser Regelgröße (Soll-Wert), und stellt in gewissen Zeitabständen den Ist-Wert auf diesen Soll-Wert ein. Die Wetterprognose ist jedoch eine Steuergröße, welche auf die GBK als Eingangswert agiert und somit vorausschauend die Heizung und Kühlung beeinflussen kann. Vorausschauend heißt, dass das Gebäudeverhalten antizipiert wird, hierbei spielt auch die Speichermasse des Gebäudes und ihre Hülle eine Rolle. Dadurch kann prinzipiell gesagt werden, dass in den Übergangsmonaten wie März, April, Mai bzw. September, Oktober eine Effizienzsteigerung in Bezug auf Energieverbrauch, CO₂-Austoss und Betriebskosten zu erwarten ist. Als positiver Nebeneffekt ist auch eine Komfortsteigerung für den Nutzer vorhersehbar.

Konkret wird anhand eines Industriegebäudes in Ulm die Heizung und Kühlung mittels Temperaturverlauf analysiert und es wird aufgezeigt, wo Optimierungsmöglichkeiten bestünden. Hierfür werden zwei unterschiedliche Zonen in diesem gewerblich genutzten Gebäude untersucht. Die Sonneneinstrahlung spielt hier auch eine große Rolle. Diese wird in der Simulation mitberücksichtigt, da bei Gebäuden mit sehr guten Dämmwerten (Passivhaus) die Außenlufttemperatur eine minimale Rolle spielt, im Gegensatz zur Solaren Strahlung.

Inhalt

<i>Bibliografische Beschreibung:</i>	III
<i>Referat:</i>	IV
Inhalt	V
Abbildungsverzeichnis	VIII
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
1.1 <i>Rolle der Gebäudeleittechnik</i>	1
1.2 <i>Motivation</i>	1
1.3 <i>Lösungsansatz</i>	2
1.3.1 <i>Standardregelung</i>	2
1.3.2 <i>Regelung nach Mannheimer Stunden</i>	2
1.3.3 <i>Prognose ohne Wettervorhersage</i>	3
1.3.4 <i>Prognose mit Wettervorhersage</i>	3
2 Stand der Technik	5
2.1 <i>Wetterdaten und Haustechnik</i>	5
2.2 <i>Thermische Behaglichkeit</i>	6
2.3 <i>Speichermassen und ihr Einfluss auf die Raumkonditionierung</i>	8
3 Gebäudeklimatisierung	10
3.1 <i>Zweck der Gebäudeklimatisierung</i>	10
3.2 <i>Arten der Gebäudeklimatisierung</i>	11
3.2.1 <i>Grundlage der Gebäudeklimatisierung</i>	11
3.2.2 <i>Möglichkeiten der Gebäudeklimatisierung</i>	11
4 Fallbeispiel	13
4.1 <i>Technische Gebäudeausrüstung</i>	13

4.1.1	Heizung / Kälte.....	13
4.1.2	Lüftung.....	14
4.2	<i>Zone I - Produktion</i>	15
4.2.1	Allgemeine Beschreibung	15
4.2.2	Betriebsarten	18
4.2.3	Regelung	19
4.3	<i>Zone II - Büro</i>	20
4.3.1	Allgemeine Beschreibung	20
4.3.2	Ermittlung der Lasten.....	21
4.3.3	Betriebsarten Heizung / Kühlung.....	23
4.3.4	Regelung Heizung / Kühlung.....	24
4.3.5	Lüftungsgerät Büro	25
4.3.6	Betriebsarten Lüftung.....	26
4.3.7	Steuerung und Regelung der Anlage	27
4.3.8	Temperaturregelung	30
4.3.9	Freie Nachtkühlung.....	32
5	Wetterprognose	33
5.1	<i>Wann Wetterprognose</i>	33
5.1.1	Lastfall 1	36
5.1.2	Lastfall 2	36
5.1.3	Einflussfaktoren zur Beeinflussung der Raumtemperatur.....	39
5.1.3.1	Interne Lasten	39
5.1.3.2	Solarer Eintrag.....	39
5.1.3.3	Energieabgabeform	39
5.1.3.4	Speichermassen	39
5.1.4	Beispiel 18.Mai.....	39
5.1.5	Konventionelle Regelung	40
5.2	<i>Funktion Wetterprognose</i>	41
5.2.1	Optimierungsszenarien	42
5.2.1.1	Szenario 1 / Szenario 2.....	43
5.2.1.2	Szenario 3.....	45
6	Dynamische Berechnung –Simulation	47
6.1.1	Bauteilberechnung	47
6.1.2	Sonnenschutz	48
6.2	<i>Parameter Nutzung und Konditionierung</i>	48
6.2.1	Interne Lasten.....	48
6.2.2	Raumtemperaturen und Betriebszeiten.....	49
6.3	<i>Tafelproduktion - Zone I</i>	49
6.3.1	Betriebsweise	49

Inhalt	VII
6.3.2	Simulation ohne WPR 50
6.3.3	Simulation mit WPR 51
6.3.4	Temperaturen in der Tafelproduktion..... 53
6.4	<i>Büro - Zone II</i> 55
6.4.1	Betriebsweise 55
6.4.2	Simulation ohne WPR 56
6.4.3	Simulation mit WPR 57
6.4.4	Temperaturen im Büro..... 57
7	Auswertung – Einsparung durch WPR 59
7.1	<i>Vergleich Büro - Tafelproduktion</i> 59
7.2	<i>Alternative Methoden zur Energiereduktion mit WPR</i> 60
8	Fazit..... 61
Literatur 63
Anlagen 64
Anlagen, Teil 1 I
Anlagen, Teil 2 II
Selbstständigkeitserklärung	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: schematische Darstellung WPR	Seite 6
Abbildung 2: Behaglichkeitsdiagramm	Seite 7
Abbildung 3: Diagramm PMV und PPD	Seite 7
Abbildung 4: Einfluss der speicherwirksamen Massen auf die Raumtemperatur	Seite 8
Abbildung 5: Tafelproduktion in der Bauphase	Seite 16
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Heizkreises Tafelproduktion	Seite 16
Abbildung 7: Legende zum Schema	Seite 17
Abbildung 8 : Diagramm Heizkurve Sollwertbildung	Seite 19
Abbildung 9 : Bürotrakt während der Ausführung	Seite 22
Abbildung 10: schematischer Aufbau des Heizkreises für die Konvektoren	Seite 23
Abbildung 11: Diagramm Heizkurve Sollwertbildung	Seite 24
Abbildung 12: Lüftungsschema Büro	Seite 26
Abbildung 13: Anfahrschaltung Erhitzerregister	Seite 29
Abbildung 14: Temperaturregelung Lüftung	Seite 30
Abbildung 15: Temperaturregelung Sommerkompensation	Seite 31
Abbildung 16: Jahresaußenlufttemperaturverlauf	Seite 34
Abbildung 17: Temperaturverlauf Monat Mai	Seite 37
Abbildung 18: Außentemperaturverlauf 17.Mai	Seite 38
Abbildung 19: Standardregelung an einem Tag in den Übergangsmonaten	Seite 42
Abbildung 20: Wetterprognoseunterstützte Regelung an einem Tag in den Übergangsmonaten (22.Mai)	Seite 43
Abbildung 21: Auszug aus der Bauteilberechnung mittels Solar-Computer	Seite 47
Abbildung 22: Monatssummen des Energieverbrauches in der Prod. ohne WPR	Seite 51
Abbildung 23: Monatssummen des Energieverbrauches in der Prod. mit WPR	Seite 52

Abbildung 24: Temperaturverlauf im Juli in der Tafelproduktion	Seite 53
Abbildung 25: Monatssummen des Energieverbrauches im Büro ohne WPR	Seite 56
Abbildung 26: Monatssummen des Energieverbrauches im Büro mit WPR	Seite 57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswertung Wetterdaten	Seite 35
Tabelle 2: Zusammenhang PMV und PPD	Seite 44
Tabelle 3: Gegenüberstellung interner Lasten zwischen Büro und Produktion	Seite 48
Tabelle 4: Betriebsweise Tafelproduktion	Seite 50
Tabelle 5: Tagestemperaturverlauf 15.Juli	Seite 54
Tabelle 6: Betriebsweise Büro	Seite 55
Tabelle 7: 25.Mai Tagestemperaturverlauf mit WPR	Seite A-I
Tabelle 8: 25.Mai Tagestemperaturverlauf mit WPR	Seite A-I
Tabelle 9: 15.April Tagestemperaturverlauf ohne WPR	Seite A-II
Tabelle 10: 15.April Tagestemperaturverlauf mit WPR	Seite A-II

Abkürzungsverzeichnis

AOK	Allgemeine Ortskrankenkasse
AS	Automatisationsstation
ASR	Arbeitsstättenrichtlinie
CEN	Europäisches Komitee für Normung
DDC	Direct Digital Control
EN	Europäische Norm
GLT	Gebäudeleittechnik
HBZ	Hauptbetriebszeit
ISO	Internationale Organisation für Normung
MAK	maximale Arbeitsplatzkonzentration
NBZ	Nebenbetriebszeit
rMGK	relative Mischgaskonzentration
PMV	predicted mean vote – Index für das Wohlbefinden
PPD	predicted percentage of dissatisfied – Prozentsatz unzufriedener Nutzer
WPR	Wetterprognoseunterstützte Gebäuderegulung
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

1 Einleitung

1.1 Rolle der Gebäudeleittechnik

Mit über 40 Prozent tragen Gebäude in Mitteleuropa zum gesamten Primärenergieverbrauch bei. (www.iea.org/publications/freepublications/publication/Building_Codes.pdf, 2013) Während durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen auf europäischer Ebene, aber auch in Österreich, die Grundlagen für energetisch effiziente Gebäudehüllen und Anlagentechnik geschaffen wurden, fristet die Gebäudeautomation immer noch eher ein Schattendasein. Bei heutigem Stand der Technik ist das Effizienzsteigerungspotenzial von Gebäudehülle und Anlagentechnik mittlerweile nahezu ausgeschöpft. Neben dem Nutzerverhalten können wesentliche Einsparungen nur noch dadurch erzielt werden, wenn die im Gebäude benötigte Energie effizient genutzt werden kann. Dies kann nur über eine geeignete Gebäudeautomation geschehen. Eine gut eingestellte Gebäudeautomation hat noch als positiven Nebeneffekt, neben der Energieoptimierung und der Minimierung von Treibhausgasen (z.B. Kohlendioxid, etc.), die Möglichkeit, den Nutzer mit Komfort zu befriedigen. Das bedeutet, dem Nutzer bei unterschiedlichen Lastfällen die ideale Raumtemperatur bereitzustellen.

Die GLT findet sich somit in allen modernen Industriegebäuden und bildet eine Untergruppe der Gebäudeautomation. Die Untersuchung wird sich primär mit der Heizungs-, Klima- und Lüftungssteuerung befassen. Die GLT kann jedoch auch Beleuchtungs- und Beschattungssteuerungen oder Energie- und Lastmanagement Aufgaben abdecken. Grundsätzlich ist die GLT im üblichen Fall ein Rechner mit einer Programmierlogik. Dieser Rechner sitzt übergeordnet zu allen Regelstationen und kann direkte Vorgaben treffen bzw. Eingriffe in die Regelung vollziehen. Alle Werte der eingebauten Sensoren und Fühler können von hier abgerufen und dokumentiert werden. Somit ist die GLT eine Leitzentrale und eine Überwachungsstelle in Einem.

1.2 Motivation

Die Motivation, das Thema „Wetterprognoseunterstütztes Regeln“ zu untersuchen, erklärt sich am Besten mit einem Fallbeispiel. An einem kühlen Maimorgen geht man warm angezogen zur Arbeit, im Büro ist es recht kühl in der Früh. Am Nachmittag herrscht dann eine verkehrte Darstellung: bei Außentemperaturen jenseits der 20°C kann es vorkom-

men, dass Raumtemperaturen von über 25°C zustande kommen. Dies lässt sich mit der Tatsache erklären, dass jedes Gebäude eine bestimmte Trägheit hat, welche sich aus der Speichermasse und Energieeinbringform ergibt. Will man beispielsweise eine Soll-Raumtemperatur von 22°C haben, so heizt der Wärmeerzeuger bis der Raumthermostat diesen abschaltet. Die Kombination von internen Lasten, wie Computer und Beleuchtung und externe Lasten wie solare Einstrahlung kommen zum Überschwingen der Gebäudespeichermassen hinzu. Diese Kombination ergibt dann als Produkt sehr hohe Temperaturen im Raum. Aus der im Planungsbüro gesammelten Erfahrung kann gesagt werden, dass an solchen Tagen die Raumtemperatur am Nachmittag über die Behaglichkeitsgrenze hinausgeht, und somit der Komfort für ein angenehmes Arbeitsklima nicht mehr gewährleistet werden kann. Zusätzlich ergibt sich hier auch ein vermeidbarer Energieverbrauch, da der Wärmeerzeuger früher hätte abgeschaltet werden können, beziehungsweise bringt der anschließende Einsatz einer Kühlung einen weiteren Energieverbrauch mit sich.

1.3 Lösungsansatz

Es gibt viele verschiedene Lösungsansätze, ein Gebäude zu regeln. Hierfür werden nachfolgend vier Methoden beschrieben. In dieser Arbeit wird die Regelung ohne WPR nach der Methode 1.3.2 Mannheimer Stunden untersucht, die Regelung mit WPR nach der Methode 1.3.4 Prognose mit Wettervorhersage.

1.3.1 Standardregelung

In der Praxis kam es öfters vor, dass Regelungen ausgeführt wurden, die ein Aktivieren der Heizungsanlage auslösen, sobald einige Stunden unter 15°C Außenlufttemperatur erreicht werden. Dies kann aber an 85% der Tage im Jahr vorkommen (im Mai wäre es laut Abbildung 17 jeder Tag). Da Heizungsanlagen bei hohen Außentemperaturen extrem unwirtschaftlich laufen, wurde dieses System größtenteils nicht mehr herangezogen. Diese Art der Regelung gilt als überholt.

1.3.2 Regelung nach Mannheimer Stunden

Bei dem Projekt in Ulm wurde ein optimiertes System ausgeführt. Die Aktivierung der Heizungsanlage wird nach dem Tagesmittelwert errechnet, im konkreten Fall bei Unterschreiten der 17°C-Marke.

Somit wird verhindert, dass die Heizung bei jeder Unterschreitung von 15°C hochgefahren wird. Seine Namensgebung hat dieses System vom deutschen Meteorologen Jakob Hemmer, er entwickelte dieses Modell im 18. Jahrhundert in Mannheim zur Erfassung der Temperaturen an mehreren Standorten (siehe 3.1 Zone I). Er war ein Mitbegründer der modernen Form der Wettervorhersagen.

Diese Regelung ist ein großer Fortschritt gegenüber der „sturen“ Fixwertregelung, jedoch ist es auch nicht maßgeschneidert und ideal für die Übergangsmonate. Zumindest wird ein Verlauf, im Gegensatz zu einem „unintelligenten“ Fixwert, betrachtet. Zur Berechnung werden 3 gemessene Tageswerte herangezogen, diese mittlere Temperatur gilt dann für den darauffolgenden Tag.

$$T_{\text{mittel}} = (T_{\text{außen um } 7^{\circ}} + T_{\text{außen um } 14^{\circ}} + 2 \cdot T_{\text{außen um } 21^{\circ}}) \cdot 0,25$$

So lange, bis der Außenlufttemperatursensor 17°C misst, erst dann würde der Befehl „Heizung aus“ seitens GLT erfolgen.

1.3.3 Prognose ohne Wettervorhersage

Firmen der Regelungstechnik haben zwar einige Trendberechnungsprogramme entwickelt, welche die Außentemperatur auf Basis von sogenannten „Spline“-Kurven errechnen. Dies bringt aber eine Ungewissheit mit sich, ob die errechnete Temperatur mit der gemessenen Außentemperatur übereinstimmt. Es gibt zwar rückgekoppelte Kontrollabrufe zur gemessenen Außentemperatur, jedoch können beispielsweise Temperaturschwünge nicht frühzeitig erkannt werden. Zudem müsste eine Gebäudesimulation im Prozessor des Regelungsverteilers mitlaufen und permanent errechnet werden, um einen exakten Innentemperaturverlauf zu erhalten. Dies dient der Einbeziehung der Speichermassen, was in der Praxis aber ganz selten der Fall ist. Somit ergibt sich immer ein verzerrtes Regelungsprogramm, da die Prognose einem zu einfachen Berechnungssystem unterliegt.

1.3.4 Prognose mit Wettervorhersage

Die einzige Möglichkeit, die Regelung umfangreich zu optimieren besteht darin, wirklich vorrausschauen zu können. Hierfür eignet sich eine Wetterprognose beziehungsweise eine Temperaturprognose, welche als Regelgröße auf den Wärmeerzeuger und die Pumpen wirkt. Nebenbei werden diese Temperaturdaten mit den gemessenen Außentemperaturen verglichen, um Fehlprognosen nicht mit ins System zu schleusen. Im Falle von sol-

chen Fehlprognosen, welche laut ZAMG bei 2% auf Wetterprognosen und bei Temperaturprognosen bei 0,1% liegen, entfällt der Vorteil des frühzeitigen Eingreifens in die Gebäuderegelung. (<http://www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/wetter>, 2013)

Diese Diplomarbeit ist demnach so aufgebaut, dass nach der Erläuterung des Punktes Stand der Technik, zuerst eine Fallstudie untersucht wird um festzustellen, wann die Anwendung einer Wetterprognose sinnvoll wäre und wie groß das Potenzial der WPR ist. Hierzu werden unterschiedliche Wetterdaten ausgewertet. Anschließend wird eine Simulation erstellt, um die Speichermassen einer Testreferenz mit zwei unterschiedlichen Zonen ermitteln zu können. Zum Schluss werden alle Daten verglichen, um eine Kernaussage bezüglich der Wirtschaftlichkeit der WPR treffen zu können.

2 Stand der Technik

2.1 Wetterdaten und Haustechnik

Es gibt bereits einige Systeme, wo die Einbringung von Wetterdaten in Gebäudetechnische Anlagen umgesetzt wurde. Einige Firmen forschen bereits seit Jahren an der WPR, diese Gebäude sind aber nach wie vor überwiegend Versuchsprojekte.

Möglich wird die Lösung durch die Qualität heutiger Wettervorhersagen. Sie machen nicht nur für mehrere Tage Angaben mit akzeptabler Genauigkeit, sondern sie sind – und das ist für das jeweilige Objekt wichtig – auch in einem ausreichend kleinen regionalen Raster verfügbar. Was nützen die Vorhersagen für ein Bundesland, wenn signifikante Temperaturunterschiede schon über Distanzen von 20 km spürbar sind.

Außer der Wetterprognose fließen individuelle Gebäudedaten in das Optimierungsverfahren ein. Ein exaktes Simulationsmodell berücksichtigt zudem die Anlagentechnik selbst und natürlich auch das Nutzungsverhalten.

Die Berechnung der Regelungsdaten erfolgt in einem Rechenzentrum, das die aktuellen Wetterprognosen zur Verfügung hat, sowie die Modelle der zu bedienenden Objekte. Das Ergebnis der Berechnungen sind optimierte Steuervorgaben für die kommenden 2 bis 3 Tage, die an die Objekte übergeben werden.

Bei der Kommunikation zum Objekt und der Steuerung vor Ort, also der GLT, bedarf es eines Koppelgerätes zwischen Rechenzentrum und GLT. Per Analog- oder ISDN-Modem, GSM oder über Ethernet erhält es die Steuerinformationen und koppelt sie via OPC oder LON an die Anlagentechnik. Zudem werden Messdaten aus dem Gebäude und der Anlage regelmäßig zurückgemeldet. Das dient der Fehlererkennung und der Verbesserung des Simulationsmodells, da man auch mit einer gewissen Ungenauigkeit der Wettervorhersagen rechnen muss. Natürlich können so auch Störmeldungen erfasst und verwertet werden. Beispielhaft ist eine schematische Darstellung einer Regelungsfirma auf Abbildung 1 angefügt.

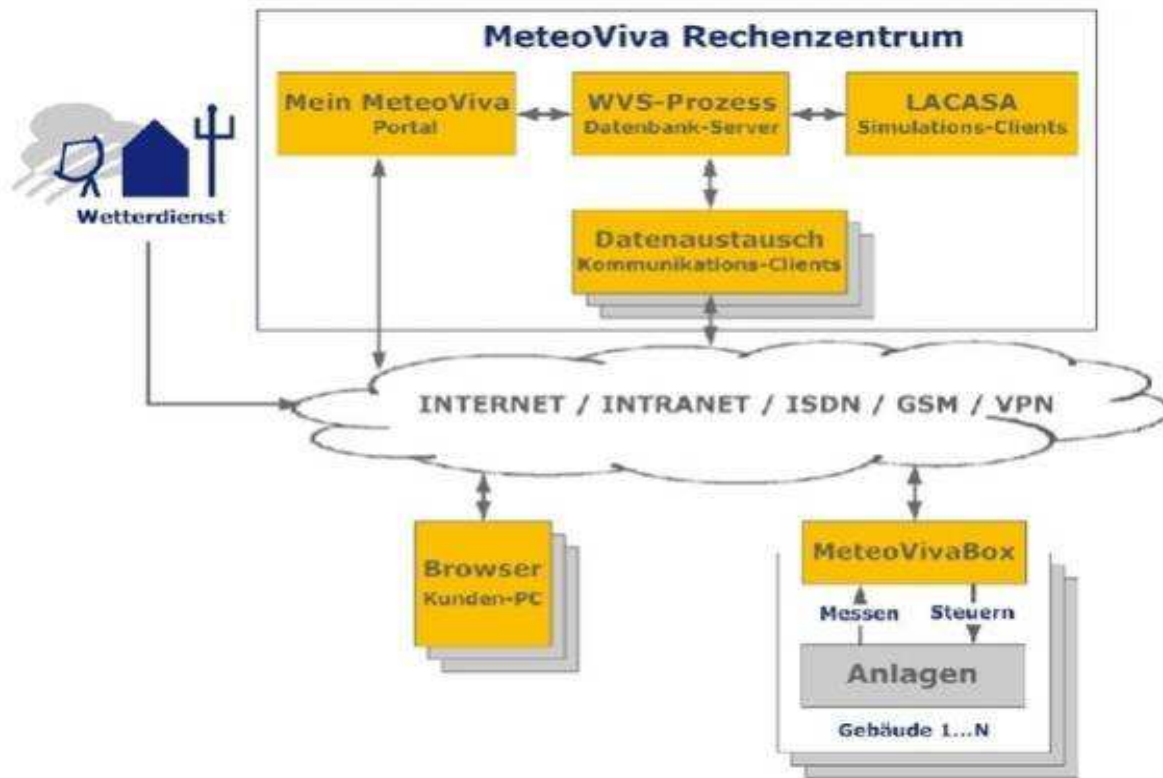


Abbildung 1: schematische Darstellung WPR [Fa.MeteoViva GmbH, 2013]

2.2 Thermische Behaglichkeit

Obwohl die thermische Behaglichkeit auf den ersten Blick nicht viel mit der WPR zu tun hat, jedoch ist sie von großer Bedeutung in Bezug auf die Energieeinsparung.

Die Qualität des Raumklimas hat in den letzten Jahren und Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung zugenommen. Die Tatsache, dass sich Menschen zu ca. 90% in geschlossenen Räumen aufhalten, verdeutlicht den Wunsch nach immer höherer Qualität des Raumklimas. Faktoren wie Akustik, Beleuchtung, Raumluftqualität beeinflussen täglich das Raumklima.

Die wichtigste Anforderung an ein gutes Raumklima besteht darin, dass sich ein Mensch mit seinem Körper im Ganzen thermisch neutral fühlt.

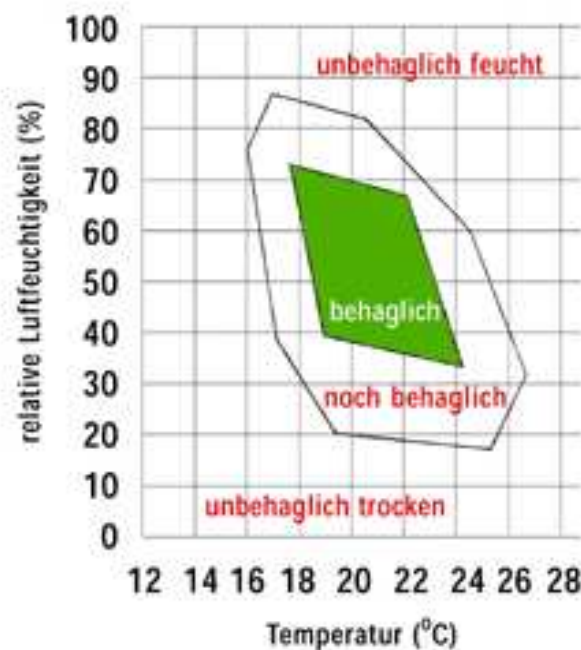


Abbildung 2: Behaglichkeitsdiagramm [www.Raumluft.org, 2013]

Schlechte Raumluftqualität bewirkt zudem steigende Kosten. Dies zeigt sich z.B. durch eine erhöhte Anzahl von Krankheiten und Krankentagen, sowie eine verminderte Arbeitsleistung, welche im folgenden PMV Diagramm (Abbildung 3) abgebildet ist.

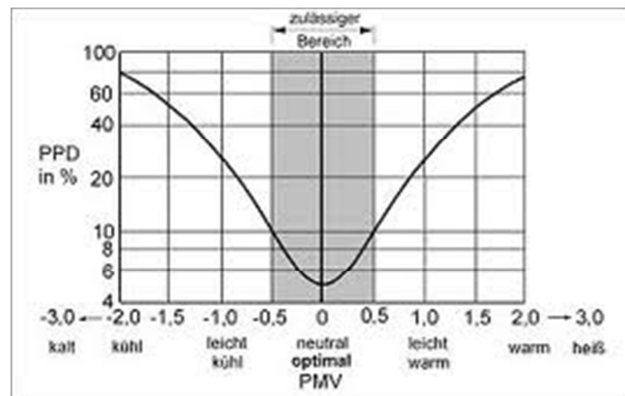


Abbildung 3: Diagramm PMV und PPD [www.ee.fs.uni-lj.si/EnergijaInOkolje, 2013]

Die Auswirkung von Raumluft auf die Produktivität bei Mitarbeitern wird daher immer mehr zum Thema. Wenn berücksichtigt wird, dass die Gehälter von Beschäftigten in heutigen Bürogebäuden um ungefähr das Hundertfache (geschätzte Hochrechnung) die Energie- und Wartungskosten eines Gebäudes übertreffen, sollte eine Produktivitätssteigerung von

gerade einmal 1% ausreichen, um selbst eine Verdopplung der Energie- und Wartungskosten abzudecken.

Diese Analyse der Behaglichkeit dient jenem Zweck, um herauszufinden welche Temperaturen seitens Mensch tolerierbar sind, um Energiekosten zu sparen. Eine Berechnung dieser Werte wird im Kapitel 5.2.1.1 Szenario 1 und 2 durchgeführt.

2.3 Speichermassen und ihr Einfluss auf die Raumkonditionierung

Speicherwirksame Masse kann durch den Einsatz von freiliegenden massiven Bauteilen für die Baukonstruktionen erreicht werden. Sind die Bauteile kühl, so nehmen sie bei zunehmender Innenraumtemperatur Wärme auf und geben diese bei abnehmenden Temperaturen wieder in den Raum zurück. Damit werden die Innenraumtemperaturen im Sommer und im Winter stabilisiert, was einerseits zu einer höheren thermischen Behaglichkeit für die Nutzer führt, andererseits die Spitzenlasten sowie den gesamten Energieeinsatz für Heizung und Kühlung des Gebäudes und somit Investitions- und Betriebskosten reduziert. Zusätzlich wird die Temperaturspitze bei Gebäuden mit hoher Speichermasse um bis zu 6 Stunden im Vergleich zur Außentemperatur verschoben und somit in den Abend gelegt. (European Concrete Platform, 2013)

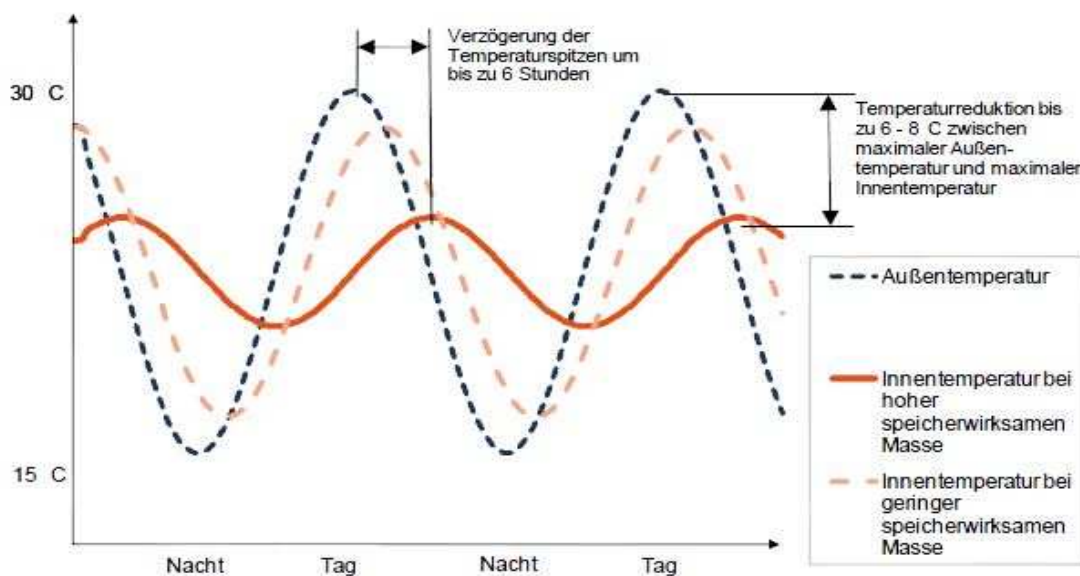


Abbildung 4: Einfluss der speicherwirksamen Massen auf die Raumtemperatur [European Concrete Platform, 2013]

Aus der Abbildung 4 kann folgendes interpretiert werden: je massiver die Bauweise ist, desto geringer ist die Amplitude. Das heisst, das die Temperaturspitzen werden gedämpft. Somit entstehen viel geringere Temperaturschwankungen als bei Gebäuden in leichter Bauweise.

3 Gebäudeklimatisierung

3.1 Zweck der Gebäudeklimatisierung

Die Auswirkungen der Gebäudeklimatisierung auf die Produktivität bei der Arbeit sind unumstritten und von vielen individuellen Faktoren beeinflusst, dennoch unterliegt es dem subjektiven Empfinden jedes Einzelnen, ob die Klimatisierung behaglich ist. Eine Kennzahl hierfür ist der Index PPD, der Prozentsatz unzufriedener Raumnutzer. Der PPD-Index stellt eine quantitative Vorhersage der Anzahl der mit einem bestimmten Umgebungsklima unzufriedenen Personen dar. Dieser wird in der Norm ISO 7730 bzw. CEN 27730 definiert.

Grundsätzlich ist es gesetzlich fest verankert, welche Räume wie konditioniert werden müssen. Dies ist gemäß Arbeitsschutz, z. B. in Österreich nach der Arbeitsstätten-Richtlinie Lüftung (www.arbeitsinspektion.gv.at/astv/astv.htm#n28, 2013) dann erreicht, wenn die Luftqualität im Wesentlichen der Außenluftqualität entspricht. Neben CO₂ werden auch Gerüche und Schadstoffe, wie Lösungsmittel aus Baustoffen oder Teppichen, Ozon aus Laserdruckern, Stäube, Gase und Dämpfe aus Herstellungsprozessen etc. abgeführt. Maßstab ist die maximale Konzentration am Arbeitsplatz (MAK). Neben der Belüftung durch aufbereitete Luft ist es auch notwendig, Räume temperaturmäßig in einem gewissen Bereich zu halten, so ist bei etwa 20°C der Mensch zu 100% leistungsfähig. Bei 28°C sinkt die Leistungsfähigkeit auf 70% und bei 33°C auf 50%. Hierfür gilt die Arbeitsstätten-Richtlinie Raumklima in Arbeitsräumen, welche gemäß §28 folgendes besagt:

„Es ist dafür zu sorgen, dass die Lufttemperatur in Arbeitsräumen beträgt:

1. zwischen 19 und 25°C, wenn in dem Raum Arbeiten mit geringer körperlicher Belastung durchgeführt werden;
2. zwischen 18 und 24°C, wenn in dem Raum Arbeiten mit normaler körperlicher Belastung durchgeführt werden;
3. mindestens 12°C, wenn in dem Raum nur Arbeiten mit hoher körperlicher Belastung durchgeführt werden.“

Dies bedeutet, dass alle Arbeitsräume belüftet, gekühlt und beheizt werden müssen.

Eine Befragung der AOK (Allgemeine Ortskrankenkasse in Deutschland, <http://www.aok.de/bayern/presse/presse-presseinformationen-172970.php>, 2013) ergab,

dass sich fast 30% der Befragten durch schlechte Belüftung und Klimaanlage beeinträchtigt fühlen. Schlecht gewartete Systeme können Schadstoffe nicht abführen oder sogar Bakterien, Schimmelpilze und andere Mikroorganismen verbreiten. Zwar verbrauchen moderne, effiziente Klimaanlage weniger Energie als ältere Geräte, aber ein verlustleistungsfreier Betrieb ist prinzipiell unmöglich. Das belastet spürbar die Stromversorgungsnetze und ist der größte Nachteil gegenüber Gebäuden die nicht oder nur geringfügig konditioniert werden.

3.2 Arten der Gebäudeklimatisierung

3.2.1 Grundlage der Gebäudeklimatisierung

Behaglichkeit ist die Grundlage der Planung von Luft-/ Wassersystemen für die Konditionierung von Arbeitsräumen.

Das menschliche Wärmeempfinden hängt im Wesentlichen vom thermischen Gleichgewicht des Körpers mit seiner Umgebung ab. Einflussfaktoren sind die operative Temperatur, der Aktivitätsgrad und die Bekleidung. Die operative Temperatur wird aus der Raumtemperatur und den Oberflächentemperaturen der Wand bzw. den Fensterflächen ermittelt. Um die thermische Behaglichkeit zu gewährleisten, werden geschlossene Räume über verschiedenste Formen der Energieeinbringung konditioniert.

Durch den ständig steigenden globalen Energieverbrauch sind wir gezwungen, die Verfügbarkeit unserer Ressourcen kritisch zu betrachten. Ein nachhaltiger, schonender Umgang mit Energie ist unabwendbar, um die Umwelt zu schützen. Des Weiteren muss das Bewusstsein der Menschen angesprochen werden, um Lösungen zu entwickeln, in denen der Energieverbrauch gesenkt werden kann.

3.2.2 Möglichkeiten der Gebäudeklimatisierung

Unter Klimatisierung von Gebäuden wird im strengen Sinn die teilweise oder vollständige Beeinflussung der Raumlufttemperatur und -feuchte verstanden.

Hierbei wird grundsätzlich zwischen natürlicher und mechanischer GBK unterschieden.

Bei der natürlichen GBK ist der Fokus auf das sommerliche Temperaturverhalten von Gebäuden gelegt.

Das Raumklima in Gebäuden entsteht aus einer Wechselwirkung mehrerer Faktoren. Zu diesen gehören um die Wichtigsten zu nennen:

- Äußere Einflüsse
 - Temperatur
 - Solarstrahlung
 - Wind, Feuchtigkeit
- Gebäude
 - Sonnenschutz
 - Energiedurchlass (Transmissionswärmeverluste)
 - Luftwechsel (Lüftungswärmeverluste)
 - Temperaturspeicherkapazität (thermische Speichermasse)
- Innere Einflüsse (Innenlasten)
 - Wärme
 - Feuchte
 - Gerüche

Die Häufigkeit hoher Raumtemperaturen im Sommer beeinträchtigt den Aufenthalt in Gebäuden vielfach stark. Die Gründe hierfür sind vielfältig:

- Gebäude leichter Bauart mit viel Glas
- Verzicht auf Sonnenschutz
- Keine Morgen- bzw. Nachtauskühlung
- Hohe innere thermische Lasten

Die Kühlung dieser Räume kann in aufwendigen elektrisch/mechanischen Lösungen liegen oder in der Kombination mechanischer Aggregate (Pumpen, Ventilatoren, etc.) mit natürlichen Ressourcen:

- Adiabaten Verdunstungskühlung
- Geothermie
- PCM – Phase Change Material
- Freecooling
- Lüfterdwärmetauscher

4 Fallbeispiel

Die Wetterprognose wird anhand eines Fallbeispiels mit 2 thermisch unterschiedlichen Zonen analysiert. Beide Zonen sind Bestandteil eines Gebäudes, welches in Bezug auf die Gebäudeautomation auf neuestem Stand ist. Das Gebäude wurde 2013 in Ulm errichtet und ist in ein Produktionsteil (Zone I) und ein Büroteil (Zone II) unterteilt. Bevor aber detailliert auf diese beiden Beispielszonen eingegangen wird, wird zuvor die technische Gebäudeausrüstung näher vorgestellt.

4.1 Technische Gebäudeausrüstung

4.1.1 Heizung / Kälte

Die gesamte Versorgung erfolgt sowohl für die Heizung als auch für die Kälte über das Fernwärme – und kältenetz der FUG, im Gebäude befindet sich eine Fernwärme -/ kälteübergabestation.

Anschlussleistung Heizung: 790 kW

Anschlussleistung Kälte: 1.150 kW

Beide Systeme basieren auf Wasserkreisläufen (Heizungsvorlauftemperatur mindestens 70 °C, Kältevorlauftemperatur ca. 4 °C). Sie werden zu einem Großteil über erneuerbare Energieträger gespeist. Von der Fernkältezentrale aus wird die Kälteversorgung durch Hochleistungskompressionskältemaschinen und Absorptionskältemaschinen erzeugt (jeweils ca. 50%).

Heizungsseitig werden ca. 85% der Wärmeerzeugung durch regenerative Energieformen, wie z.B. Biomasse-feuerungen und Grundwasserwärmepumpen, abgedeckt. Von hier aus werden die Lüftungsanlagen sowie der Bürobereich (untergliedert in Nord- und Südgruppe) versorgt. Die Wärmeabgabe im Bürobereich erfolgt über Konvektoren und Heizkörper.

Dieser Umstand führt im Zusammenspiel einer optimierten Gebäudehülle und der auf die unterschiedlichen Nutzungsbereiche angepassten Wärmeabgabesysteme zu einer Unterschreitung der Anforderungen lt. Energieeinsparverordnung um mehr als 20%.

Besonderes Merkmal der Wärmeabgabe ist die Aktivierung des Betonkerns mittels Wasserkreislauf in der Tafelproduktion, der Zone 1. Dies ist eine Halle mit ca. 20.000m³ Raumvolumen, in welcher LED-Tafeln produziert werden. Die Bodenplatte wurde entlang der unteren Bewehrungslage mit Kunststoffrohren im Abstand von 25 cm zueinander ausgerüstet.

4.1.2 Lüftung

Die Lüftungsgeräte werden anhand der Nutzungsbereiche unterteilt:

- Lüftung Büro
- Lüftung Besprechungsräume
- Lüftung Zentrales Versuchslabor
- Lüftung Pausenräume
- Lüftung Garderoben und Nebenräume
- Lüftung Reinraum (Zuluftanlage 2 Stk.)

Die Anlagen verfügen über die Funktionen: Frischluftversorgung, Luftreinigung, Heizung, Kühlung und bei den Reinraumanlagen gibt es zusätzlich die Be- und Entfeuchtung.

Sämtliche Anlagen werden in Abhängigkeit der Luftqualität und Raumtemperatur im jeweiligen Versorgungsbereich durch Frequenzumformer stufenlos geregelt. Untergeordnete Bereiche wie Technikräume, WC's etc. werden mit Einzellüftungsanlagen ausgestattet. Um möglichst energieeffiziente Anlagen zu errichten, wurde bei diesem Projekt zusätzlich ein Luft-Erdwärmetauscher ausgeführt. Durch diesen Luft-Erdwärmetauscher wird die Außenluft im Winter vorgewärmt und im Sommer vorgekühlt. Der Erdwärmetauscher besteht aus zwei Kollektorgängen im Untergeschoss. Zwischen den beiden Kollektorgängen werden ca. 70 Zuluftrohre mit einem Durchmesser von jeweils 300mm ausgeführt. Diese Rohre, welche antibakteriell-beschichteten PP-Rohre sind, werden mit 2% Gefälle in das Erdreich eingelegt.

4.2 Zone I - Produktion

4.2.1 Allgemeine Beschreibung

Der Produktionsteil bildet die Zone I. Diese Zone besteht aus einem großen Raum mit einer Fläche von 2230m², die über eine Fußbodenheizung temperiert wird. Die Raumhöhe beträgt ca.9,1Meter (Schwankung durch Dachgefälle). Dadurch hat man verhältnismäßig ein sehr großes Raumvolumen, welches es im Winterfall aufzuheizen gilt.

Die Solltemperatur des Raumes liegt im Winter bei +18°C, bei einer Normaußentemperatur von -14°C. Die Heizlast wurde mittels dem Programm Solar-Computer nach den Richtlinien der EN 12831 errechnet und beträgt 183kW bzw. 82W/m². Das ist jene Leistung, welche bei genormter Außenlufttemperatur zum Aufrechterhalt der Raumtemperatur benötigt wird. Im Sommerfall ist eine Kühllast von 142kW bzw. 64W/m² bei einer Soll-Raumtemperatur von 24°C abzudecken. Dieser Wert wurde aus den Gebäudekennzahlen errechnet und ergibt lediglich den Wert der Transmission.

Weitere interne Lasten wie Beleuchtung, Personen, Maschinen und der solare Eintrag werden bei der Simulation berücksichtigt. Erfahrungsgemäß können spezifische Werte im Bereich von 110-125 W/m² als Gesamtkühllast angenommen werden. In dieser Produktionsstätte wird keine mechanische Lüftung eingesetzt, somit müssen alle Lasten über die Bauteilaktivierung abgedeckt werden.



Abbildung 5: Tafelproduktion in der Bauphase

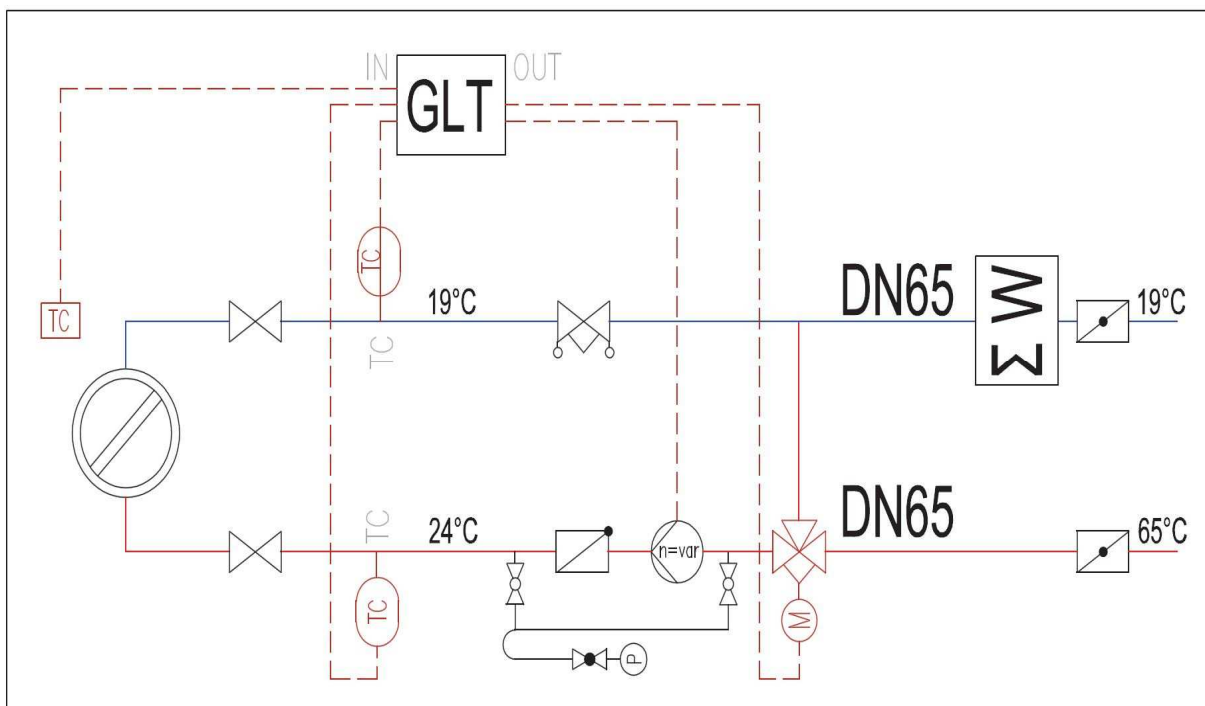


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Heizkreises Tafelproduktion

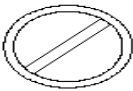



	Verbraucher
	Wärmemengenzähler
	Absperrklappe
	Kugelhahn
	drehzahlgeregelte Pumpe
	3-Wege-Ventil
	Rückschlagklappe
	Strangreguliertventil
	Tauchtemperaturfühler
	Raumtemperaturfühler

Abbildung 7: Legende zum Schema

Heizkreis Baukerntemperierung

Die Anlagenkomponenten sind folgende:

- Umwälzpumpe im Vorlauf
- Regelventil
- Vorlauftemperaturfühler
- Temperaturwächter im Vorlauf
- Rücklauftemperaturfühler
- Wärmemengenzähler
- 4 Stück Raumbedientableaus inkl. Raumtemperaturfühler

4.2.2 Betriebsarten

Automatikbetrieb

Die Freigabe der Anlage erfolgt im Automatikbetrieb über die gemittelte Außentemperatur des Vortages. Unterschreitet diese einen einstellbaren Grenzwert, wird die Anlage unverzüglich freigegeben.

Anlage EIN **$T_{\text{mittel}} < 17,0 \text{ °C}$**

Die Berechnung des Mittelwertes erfolgt nach Jakob Hemmer zu den Mannheimer Stunden. Die Auswertung erfolgt nach jeder Messung gemäß folgender Formel:

$$T_{\text{mittel}} = (T_{\text{außen um } 7^{\circ\circ}} + T_{\text{außen um } 14^{\circ\circ}} + 2 * T_{\text{außen um } 21^{\circ\circ}}) * 0,25$$

Der errechnete Außentemperatur – Mittelwert wird an der AS/GLT angezeigt, der Wert für die Freigabe kann von dort aus verändert werden. Wird ein T_{mittel} - Wert um 09.00 Uhr abgefragt so ist die um 07.00 Uhr gemessene Temperatur vom selben Tag und die um 14.00 und 21.00 Uhr gemessenen Temperaturen vom Vortag.

Handbetrieb GLT

Über einen softwareseitigen Schaltbefehl kann an der GLT die Freigabe der Umwälzpumpe, und damit des kompletten Heizkreises, übersteuert werden.

Handbetrieb AS (Automationsstation)

Die Umwälzpumpe kann mittels Handschalter an der Automationsstation ein- bzw. ausgeschaltet werden. Das Regelprogramm für die Temperatur wird aktiv, sobald die Umwälzpumpe (auch manuell) in Betrieb geht. Stellgliedern kann über die analoge Handebene ebenfalls ein Signal vorgegeben werden. Die Stellung der Handebene wird von der AS erfasst und an die GLT gemeldet.

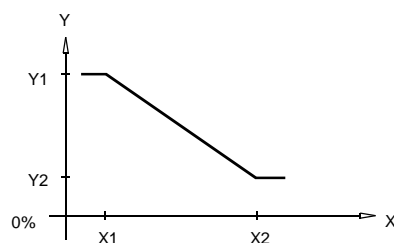
4.2.3 Regelung

Umwälzpumpe

Die Umwälzpumpe geht bei Anforderung der Anlage in Betrieb. Besteht keine Anforderung der Pumpe, wird sie trotzdem einmal wöchentlich eingeschaltet, um ein Festsitzen bei längeren Stillstandzeiten zu verhindern (Deblockierbetrieb). Bei Auftreten einer Störung erfolgt die unverzügerte Abschaltung. Die Störung wird an die AS und GLT gemeldet. Bei Ansprechen des Temperaturwächters erfolgt unverzüglich das zwangsweise Abschalten der Umwälzpumpe. Diese Funktion ist hard- und softwareseitig ausgeführt.

Sollwertbildung

Der Sollwert für die Vorlauftemperatur wird in Abhängigkeit der mittleren Außentemperatur mittels folgender Heizkurve ermittelt:



X = Außentemperatur

Y = Soll- Vorlauftemperatur

X1= -12,0 °C

X2= 16,0 °C

Y1= 26,0 °C

Y2= 24,0 °C

Abbildung 8: Diagramm Heizkurve Sollwertbildung

Die Vorlaufsollwerte der Heizkurve (zu Beginn und Ende der Schiebung) sind sowohl von der GLT als auch vom Schaltschrank aus veränderbar. Der vom DDC – System errechnete, aktuelle Sollwert wird an der AS/GLT angezeigt.

Die Umschaltung zwischen Tagbetrieb und Nachtbetrieb erfolgt über ein Zeitschaltprogramm in der Automationsstation. Folgende Schaltzeiten sind werksseitig eingestellt:

Mo- So: von 08:00 bis 16:00 Uhr

Regelung der Vorlauftemperatur

Die Regelung des Heizkreises erfolgt mit Hilfe einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung. Die Freigabe der Regelung erfolgt parallel zum Betrieb der Umwälzpumpe. Weicht der gemessene Temperaturwert vom Sollwert ab, wird die Stellung des Regelventils im Sinne einer Angleichung an den Sollwert verändert. Die Stellung des Regelventils kann von der GLT aus verändert werden (Übersteuerung), die aktuelle Stellung wird angezeigt. (Fa. Neuberger Dokumentationsunterlagen Ordner 1/2, 2012)

4.3 Zone II - Büro

4.3.1 Allgemeine Beschreibung

Der Büroteil ist dreigeschossig, zur Vereinfachung wird aber nur Ausschnitt eines Geschosses zur Analyse herangezogen. Die Berechnung wird anhand eines Großraumbüros durchgeführt, welches sich im zweiten Obergeschoss befindet und nach Süden ausgerichtet ist. In diesem Bereich sind 16 Personen tätig. Auf den tatsächlich vergebenen Raumnummern wird angeknüpft, wobei die ersten beiden Ziffern das Geschoss wiedergeben, bei 02 also 2.Obergeschoss. Die Raumnummer des Großraumbüros heißt 02_02. Die Gesamtfläche beträgt 331m², bei einer Raumhöhe von 3,5m und einer Raumtiefe von 8m. Die Heizlast dieses Büroraumes beträgt 12,6kW bzw. 38,1 W/m². Die Kühllast beträgt 21,8kW bzw. 65,9 W/m², wobei dies nur der Anteil der Transmission ist, durch die internen Lasten wird dieser Wert real zwischen 85 und 100 W/m² liegen.

Die Raum-Solltemperatur wird im Winter mit +20°C und im Sommer +24°C festgeschrieben.

Anders als in der Zone I ist hier eine mechanische Lüftung installiert, welche in den vorgeschriebenen Betriebszeiten einen dreifachen Luftwechsel bewerkstelligt. Der Volumenstrom beträgt somit 3.480m³/h. Die Einblastemperatur, jene Temperatur mit der die Luft den Raum erreicht, ist im Winter mit +26°C und im Sommer mit +18°C konzipiert. Diese Werte sind aus langjähriger Erfahrung entstanden. Bei extremeren Einblastemperaturen

kann zwar Energie eingespart werden. Die Behaglichkeit im Raum, besonders bei Erscheinungen wie Zugluft, kann nur bei den obigen Temperaturen gewährleistet werden. Es geht darum den optimalen Betriebspunkt zu finden, ohne eine Verschlechterung der Arbeitsbedingungen für den Nutzer in Kauf zu nehmen.

4.3.2 Ermittlung der Lasten

Die Lüftung deckt 30% der Gesamtkühllast und 40% der Gesamtheizlast des Raumes ab. Dies ist einfach zu ermitteln, da die Enthalpiedifferenz, welche aus dem Mollier-h-x-Diagramm abgelesen werden kann, beim Abkühlen der Luft von +32°C/40%r.F. auf +26°C/70%r.F. 6 kJ/kg ausmacht. Dieser Schritt trägt nur zur Konditionierung der Außenluft bei, erst der Sprung von +26°C/70% auf +18°C/90% trägt zur Raumkühlung bei. Dies entspricht einer Enthalpiedifferenz von 9 kJ/kg. Zur Errechnung der über die Lüftung abgedeckten Kühllast wird folgende Formel angewandt:

Luftwechsel in m³/h / 3600 * Dichte von Luft in kg/m³ * Enthalpiedifferenz zur Raumkühlung in kJ/kg

Eingesetzt: $3480 / 3600 * 1,17 * 9 = 10,2\text{kW}$

Bei einer Gesamtkühllast (Transmission + int. Lasten) von ca . 33kW verrichtet die mechanische Lüftung 30% der Kühlarbeit. Bei der Heizung wird es gleich berechnet.

Zusätzlich zum System Lüftung kommt die statische Heizung hinzu, diese erfolgt über Unterflurkonvektoren, welche direkt an der Fassade angebracht sind und die restlichen 60% der Heizlast abdecken und somit den Raum erwärmen.

Zusätzlich werden diese Konvektoren durch Luft vom Lüftungsgerät kommend durchströmt, somit verstärkt sich die Konvektion. Der Raum wird in Bezug auf Energetik aber auch Behaglichkeit optimal auf Betriebstemperatur gebracht. Die Abluft wird gangseitig über Gitter abgesaugt. Im Sommerfall sind die Konvektoren abgeschaltet.

Für die Kühlung ist kein statisches System vorgesehen, der Nutzer nimmt in Kauf, dass die +24°C in Hitzeperioden überschritten werden, wobei der Modus „Sommerkompensation“ zum Einsatz kommt. Dieser Modus ist so programmiert, dass bei Extremaußentemperaturen jenseits der 32°C, die Differenz zur Raumtemperatur nicht größer als 6-8K betragen soll, die Raumsolltemperatur somit gleitend angehoben wird. Dies hat einerseits energetische Gründe andererseits gesundheitliche, da Hitzeschocks und ähnliche Kreislaufprobleme entstehen können.

Grundsätzlich ist der größte Unterschied zwischen diesen Zonen die Energieabgabeform. Noch präziser betrachtet ist es die Reaktionszeit der Energieabgabe. Das heißt vom Anlaufen der Pumpe in diesem Kreislauf bis zum Erreichen der Soll-Temperatur im Raum.



Abbildung 9: Bürotrakt während der Ausführung

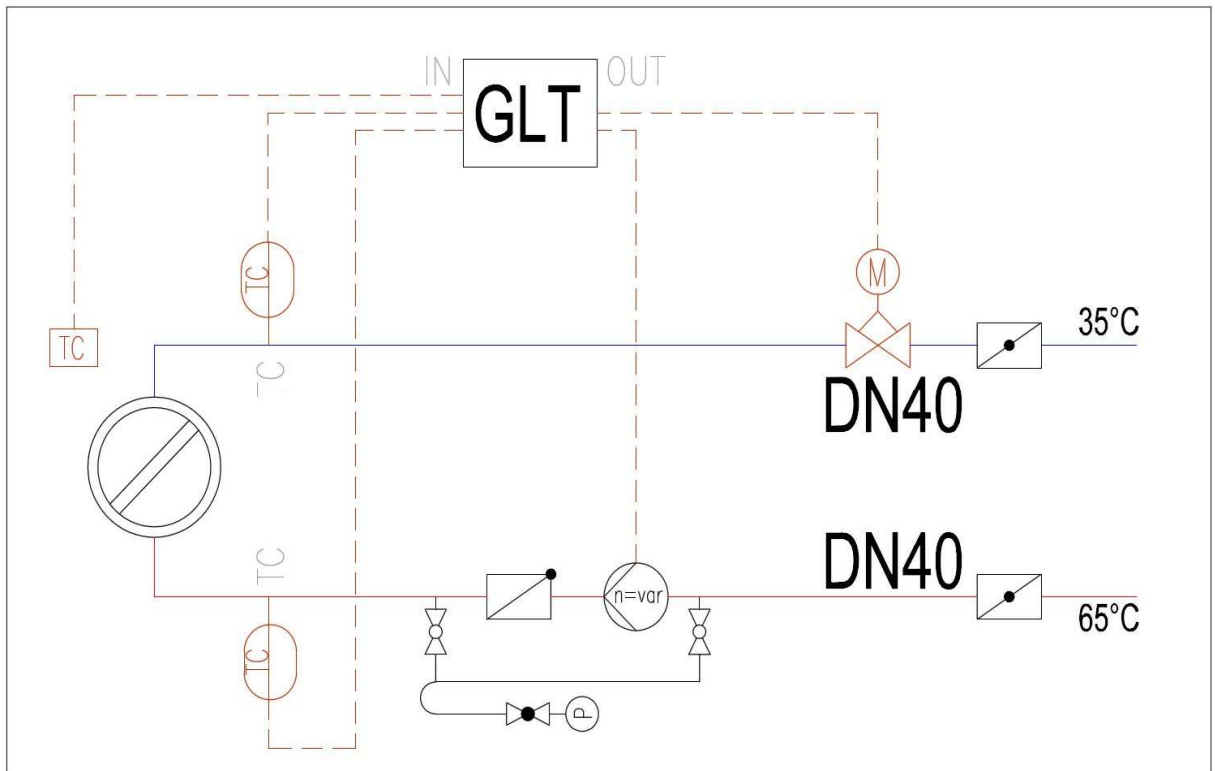


Abbildung 10: schematischer Aufbau des Heizkreises für die Konvektoren

Statischer Heizkreis Büros - Anlagenkomponenten

- Umwälzpumpe im Vorlauf
- Regelventil
- Vorlauftemperaturfühler
- Rücklauftemperaturfühler
- Raumtemperaturfühler

4.3.3 Betriebsarten Heizung / Kühlung

Die Betriebsarten Automatikbetrieb und Handbetrieb sind ident mit denen von Zone I.

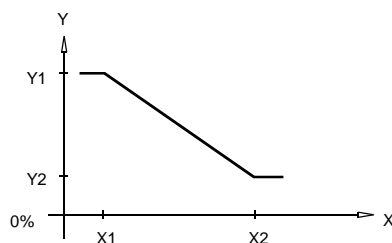
4.3.4 Regelung Heizung / Kühlung

Umwälzpumpe

Die Umwälzpumpe ist ident der Pumpe aus Zone I.

Sollwertbildung

Der Sollwert für die Vorlauftemperatur wird in Abhängigkeit der Außentemperatur mittels folgender Kurve ermittelt:



X = Außentemperatur

Y = Soll- Vorlauftemperatur

$X1 = -12,0\text{ °C}$

$X2 = 20,0\text{ °C}$

$Y1 = 70,0\text{ °C}$

$Y2 = 40,0\text{ °C}$

Abbildung 11: Diagramm Heizkurve Sollwertbildung

Die Vorlaufsollwerte der Heizkurve (zu Beginn und Ende der Schiebung) sind sowohl von der GLT als auch vom Schaltschrank aus veränderbar. Der vom DDC – System errechnete, aktueller Sollwert wird an der AS/GLT angezeigt.

Absenkung außerhalb der Betriebszeit

Außerhalb der vorgegebenen Nutzungszeit wird der errechnete Sollwert für die Vorlauftemperaturregelung um einen einstellbaren Wert abgesenkt. Die Absenkung wird dabei softwareseitig gedämpft aktiviert und deaktiviert. Dadurch werden Schwankungen in der Regelung vermieden, die ansonsten durch sprunghaft ansteigende Regeldifferenzen unvermeidbar wären.

Nachtabsenkung**15,0 K**

Die Umschaltung zwischen Normalbetrieb und Absenkbetrieb erfolgt über ein Zeitschaltprogramm in der Automationsstation. Folgende Schaltzeiten sind werksseitig eingestellt:

Mo- Fr: von 07:00 bis 18:00 Uhr
Sa- So: Aus

Die Nutzungszeiten und der Absenkwert können im Betrieb vom Nutzer an den Bedarf angepasst werden (GLT + AS), weshalb die aktuellen Werte immer an der Anlage ersichtlich sind.

Regelung der Vorlauftemperatur

Die Regelung des Heizkreises erfolgt mit Hilfe einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung. Die Freigabe der Regelung erfolgt parallel zum Betrieb der Umwälzpumpe. Weicht der gemessene Temperaturwert vom Sollwert ab, wird die Stellung des Regelventils im Sinne einer Angleichung an den Sollwert verändert. Die Stellung des Regelventils kann von der GLT aus verändert werden (Übersteuerung), die aktuelle Stellung wird angezeigt.

4.3.5 Lüftungsgerät Büro**Anlagenkomponenten**

- Zuluftventilator	1
- Abluftventilator	2
- AU/FO/UM- Klappen	3
- Erhitzerpumpe	4
- Rotationswärmetauscher	5
- Erhitzerventil	6
- Kühlerventil	7
- Außenlufttemperatur- und Feuchtefühler	8
- Zulufttemperaturfühler nach WRG	9
- Zulufttemperaturfühler nach Erhitzer	10
- Zulufttemperaturfühler Gesamt	11
- Zuluftfeuchtefühler Gesamt	12
- Ablufttemperaturfühler	13
- Abluftfeuchtefühler	14

- Luftqualitätsfühler Abluft 15
- Fortlufttemperaturfühler 16
- Rücklufttemperaturfühler Kühler 17
- Filterwächter Außen- und Abluftfilter 18
- Brandschutzklappen 19

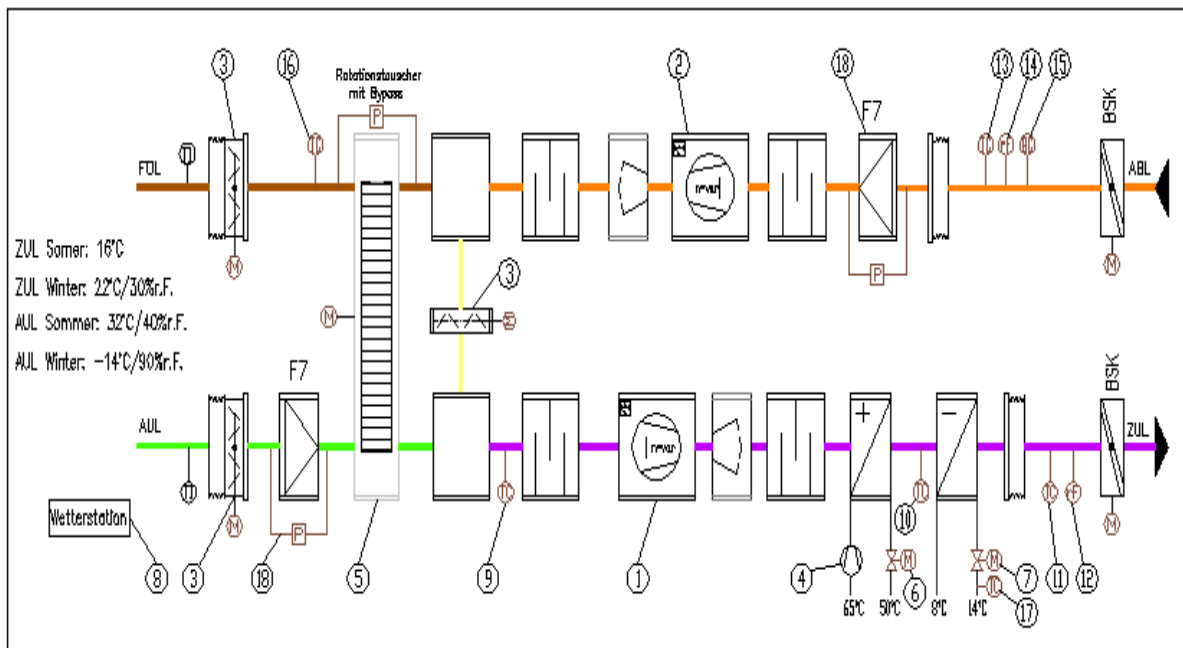


Abbildung 12: Lüftungsschema Büro

4.3.6 Betriebsarten Lüftung

Automatikbetrieb

Die Lüftungsanlage wird über ein Zeitschaltprogramm freigegeben. Die Schaltzeiten können im Betrieb vom Nutzer an den Bedarf angepasst werden, die aktuellen Schaltzeiten sind deshalb immer an der Anlage ersichtlich. Folgende Schaltzeiten sind werkseitig eingestellt:

Mo- Fr: von 07:00 bis 18:00 Uhr
Sa- So: Aus

Ist im Sommerfall am Ende der regulären Betriebszeit die Kühlung in Betrieb, wird die Filtertrocknung aktiviert. Hierbei werden alle entsprechenden Ventile zwangsweise geschlossen und die Ventilatoren in Betrieb gehalten. Nach 5 Minuten sind die Filter zuverlässig getrocknet, es erfolgt die endgültige Abschaltung der Anlage.

Handbetrieb GLT

Über einen softwareseitigen Handschalter an der GLT kann das Zeitschaltprogramm der Anlage übersteuert werden.

Handbetrieb AS (Automationsstation)

Einzelne Anlagenaggregate können mittels Handschalter an der Automationsstation ein- bzw. ausgeschaltet werden. Die Regelprogramme für Temperatur und Druck werden aktiv, sobald der Zuluftventilator (auch manuell) in Betrieb geht.

Stellgliedern kann über die analoge Handebene ebenfalls ein Signal vorgegeben werden. Befinden sich ein oder mehrere Stellglieder im Handbetrieb, arbeitet das Regelprogramm mit den verbleibenden Stellgliedern weiter. Die Stellung der Handebene wird von der AS erfasst und an die GLT gemeldet.

4.3.7 Steuerung und Regelung der Anlage

Klappensteuerung stetig

Der Mischluftvolumenstrom der RLT-Anlage kann durch die Klappen gedrosselt und/oder abgesperrt werden. Die Umluftklappe wird invers mit den Außenluft-/ Fortluftklappen stetig betrieben. Das Ausgangssignal zur Klappenansteuerung ist in die Sequenz der Temperaturregelung integriert. Der Sollwert für den minimalen Außenluftanteil kann durch den Betreiber vorgegeben werden. Einstellwert: 30%.

Ventilatoren

Die Anlage ist mit einem frequenzgeregelten Zu- / Abluftventilator ausgerüstet. Die Lüftermotorstörung, der Reparaturschalter und der korrekte Lauf werden überwacht und an die AS/GLT gemeldet. Bei Auslösen der Laufüberwachung, Motorstörung oder Betätigen des Reparaturschalters wird die Gesamtanlage ausgeschaltet. Die Verriegelung findet dabei nur durch das Auslösen der Laufüberwachung oder Motorstörung statt. Wenn keine Störung mehr ansteht, kann die Gesamtanlage über den Reset-Taster an der CPU wieder freigegeben werden.

Erhitzerpumpe

Die Erhitzerpumpe wird in Abhängigkeit des Erhitzer-Stellventilausgangs ($Y \geq 6,0 \%$) ohne Verzögerung über einen Schaltbefehl eingeschaltet. Für das verzögerte Ausschalten der Pumpe bei geschlossenem Regelventil ($Y \leq 2,0 \%$), ist eine Ausschaltverzögerungszeit von 5 Minuten definiert.

Um ein Blockieren bei längeren Stillstandszeiten zu verhindern, wird die Pumpe über den periodischen Pumpenlauf 1x wöchentlich für 1 Minute eingeschaltet. Das Auftreten einer Störung bewirkt das unverzögerte Abschalten der Pumpe. Die Störung wird über die AS/GLT gemeldet.

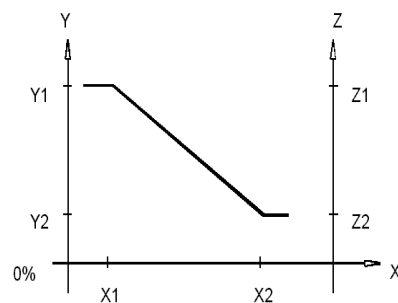
Frostschutz

Zum Schutz des Erhitzerregisters gegen Einfrieren wird die Pumpe bei Außentemperaturen unter 8°C oder bei Auslösen des Frostschutzwächters in Betrieb genommen.

Anfahrerschaltung mit Rücklauftemperatur im Erhitzerregister

Zur Bereitstellung von Heizmedium bei Anlagenstillstand wird eine RL- Regelung (bei Außen-Temperatur $< 8,0^{\circ}\text{C}$) aktiviert. Der Regler wirkt über Maximalauswahl zum Zulufttemperatur - Regler auf das Erhitzerventil und hält die Rücklauftemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur.

Steht beim Anlagenstart am Heizregister kein Heizmedium zur Verfügung, wird das Einschalten der Anlage bis zum Erreichen des Sollwerts am Rücklauftemperaturfühler verhindert. Im Betrieb der Anlage wird die Rücklauftemperatur auf ein geringeres Temperaturniveau geregelt, um auch eine geringere Zulufttemperatur ausregeln zu können. Durch diese Maßnahme wird ein stetig wirkender wasserseitiger Frostschutz nachgebildet, der bei Anlagenbetrieb der verriegelnden Frostschutzwächterauslösung entgegen wirkt.

Anfahrschaltung

X = Außentemperatur

$X1 = -12,0\text{ °C}$

$X2 = 8,0\text{ °C}$

Y = RL- Sollwert Betrieb

$Y1 = 20,0\text{ °C}$

$Y2 = 10,0\text{ °C}$

Z = RL- Sollwert Stillstand

$Z1 = 30,0\text{ °C}$

$Z2 = 20,0\text{ °C}$

Abbildung 13: Anfahrschaltung Erhitzerregister

Anfahrschaltung Außen-/Umluft-/Fortluftklappe

Beim Anlagenstart wird die Außen-/Umluft-/Fortluftklappe zunächst auf 100% Umluft gestellt. Die Klappe wird nach dem Start gleitend geöffnet (Erhöhung Außenluftanteil, Reduzierung Umluftanteil), bis die Stellsignal-Anforderung der Temperaturregelung erreicht ist.

Die Anlage fährt somit sanft an. Sowohl bei hohen als auch bei niedrigen Außentemperaturen wird das Schwingen der Temperaturregelung weitestgehend verhindert. Ebenfalls wird verhindert, dass bei niedrigen Temperaturen die Frostschutzüberwachung anspricht.

4.3.8 Temperaturregelung

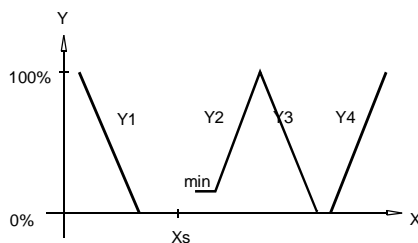
Abluft – Zuluft -Kaskaden-Regelung Temperatur

Zur Temperaturregelung wird eine Abluft- Zuluft- Kaskade angewandt. Die Kaskade besteht aus einem Führungsregler und einem Folgeregler. Der Führungsregler verschiebt in Abhängigkeit der Ablufttemperatur den Zuluftsollwert des Folgereglers. Der Zulufttemperatur- Sollwert wird hierbei auf einen MIN und MAX- Wert begrenzt.

Die AS erfasst die Zulufttemperatur, vergleicht sie mit dem Sollwert und gibt bei einer Abweichung entsprechende Stellsignale aus. Die Stellglieder werden in Sequenz wie folgt ausgeregelt:

Temperaturregelung

Wärmerückgewinnungs- Betrieb



X = Außenlufttemperatur

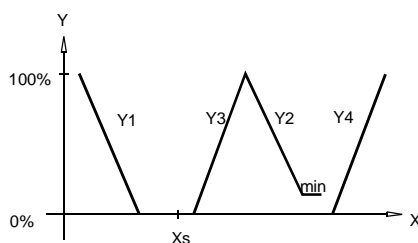
Y = Stellsignal

Y1= Erhitzerventil

Y2= Außenluftklappe

Y3= Wärme- / Kälterück-
gewinnung

Kälterückgewinnungs- Betrieb



Y4= Kühlerventil

Xs
= Sollwert

Abbildung 14: Temperaturregelung Lüftung

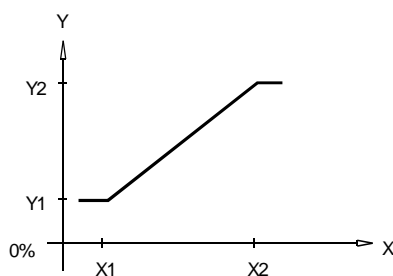
Sollwert Ablufttemperatur	21,0 °C mit Sommerkompensation
Max Begrenzung Zulufttemperatur	30,0 °C
Min Begrenzung Zulufttemperatur	17,0 °C

Alle Regelparameter wie Abluftsollwert und Betriebszeiten sind sowohl von der GLT als auch vom Schaltschrank aus veränderbar. Die aktuellen Zuluft- und Ablufttemperatursollwerte werden an der AS/GLT angezeigt.

Sommerkompensation

Bei der Temperaturregelung wird eine Sollwert-Führung in Abhängigkeit der Außentemperatur vorgenommen. Im Sommerbetrieb werden dadurch zu große Temperaturunterschiede zwischen Raum- und Außentemperatur und damit die Gefahr des Hitzeschocks vermieden. Weiterhin wird durch diese Maßnahme Kühlenergie eingespart.

Sommerkompensation



X = Außentemperatur

Y = Soll- Ablufttemperatur

X1= 21,0 °C

X2= 33,0 °C

Y1= 21,0 °C

Y2= 24,0 °C

Abbildung 15: Temperaturregelung Sommerkompensation

Alle Regelparameter wie Kompensationskurve und Betriebszeiten sind sowohl von der GLT als auch vom Schaltschrank aus veränderbar. Die aktuellen Zuluft- und Ablufttemperatursollwerte werden an der AS/GLT angezeigt.

Wärmerückgewinnung

Rotationswärmetauscher (Wärmerad)

Zur Wärmerückgewinnung ist in der Anlage ein Rotationswärmetauscher eingebaut. Mit der Wärmerückgewinnung kann – je nach Temperaturverhältnissen – entweder Kälte- oder Wärmeenergie aus der Abluft zurückgewonnen werden. Zur Auswahl der Rückgewinnungsart wird die Temperatur der Außenluft mit der Ablufttemperatur verglichen. Ist die Ablufttemperatur 3K niedriger als die Außenlufttemperatur, wird auf Kälterückgewinnung umgeschaltet. Ist die Ablufttemperatur nur noch 1K niedriger als die Außenlufttemperatur, wird auf Wärmerückgewinnung umgeschaltet.

Die Leistungsregelung der Wärmerückgewinnung erfolgt durch die Anpassung der Rotationsgeschwindigkeit des Wärmetauschers und ist in die Sequenz der Temperaturregelung mit eingebunden. Die Störmeldung des Antriebsmotors ist auf die AS/GLT geschaltet.

4.3.9 Freie Nachtkühlung

Diese Anwendung wird auch Freecooling genannt. Zur Realisierung der Nachtkühlung wird der im Großraumbüro angeordnete Raumtemperaturfühler verwendet. Die Anlage wird zum Zweck der freien Nachtkühlung eingeschaltet, wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- der Mittelwert der Außentemperatur ist größer als 17,0 °C (Sommerbetrieb)
- die Freigabezeit ist aktiv (Mo – So 3⁰⁰ bis 6⁰⁰ Uhr)
- die Außentemperatur ist 4,0 K geringer als die Raumtemperatur
- die Raumtemperatur ist 1,0 K über dem Sollwert

Die Anlage wird wieder ausgeschaltet, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- die Außentemperatur ist 2,0 K geringer als die Raumtemperatur
- die Raumtemperatur ist gleich dem Sollwert

Beim Betrieb der Anlage wird die AU/FO/UM – Klappe auf 100% Außenluft gestellt, Zu- und Ablüfter in Betrieb genommen und die Temperaturregelung gesperrt.

5 Wetterprognose

5.1 Lastfälle für die Anwendung der Wetterprognose

Bevor das System Wetterprognose zum Einsatz kommen kann, muss zuerst untersucht und festgestellt werden, bei welchen Lastverhalten es sinnvoll eingesetzt werden kann. Hierfür werden zuerst einige Außentemperaturverläufe betrachtet. Als erstes wird ein Jahrestemperaturverlauf des Standortes Stuttgart des Jahres 2010 untersucht. Zur Analyse werden Stundenwerte herangezogen. Stuttgart, weil der Standort Ulm nicht angeboten wird und 2010 deshalb, weil diese Daten kostenlos seitens Deutschem Wetterdienst zur Verfügung gestellt werden. (www.dwd.de, 2013) Das Kalenderjahr ist irrelevant für diese Analyse. Diese Daten werden in Form von ewp.Dateien zur Verfügung gestellt, welche dann über das Programm Excel importiert und in tabellarischer Form wiedergegeben werden. Im folgenden Diagramm 16 ist sichtbar, welche Qualität diese Daten vor und nach ihrer Konvertierung besitzen.

Jede Stunde hat eine Codierung bzw. Adresse hinterlegt, diese werden durch die Konvertierung entschlüsselt, um Diagramme mit Verläufen erstellen zu können.

Aus diesen Daten wurde nun als Erstes ein Jahresaußenlufttemperaturverlauf erstellt:

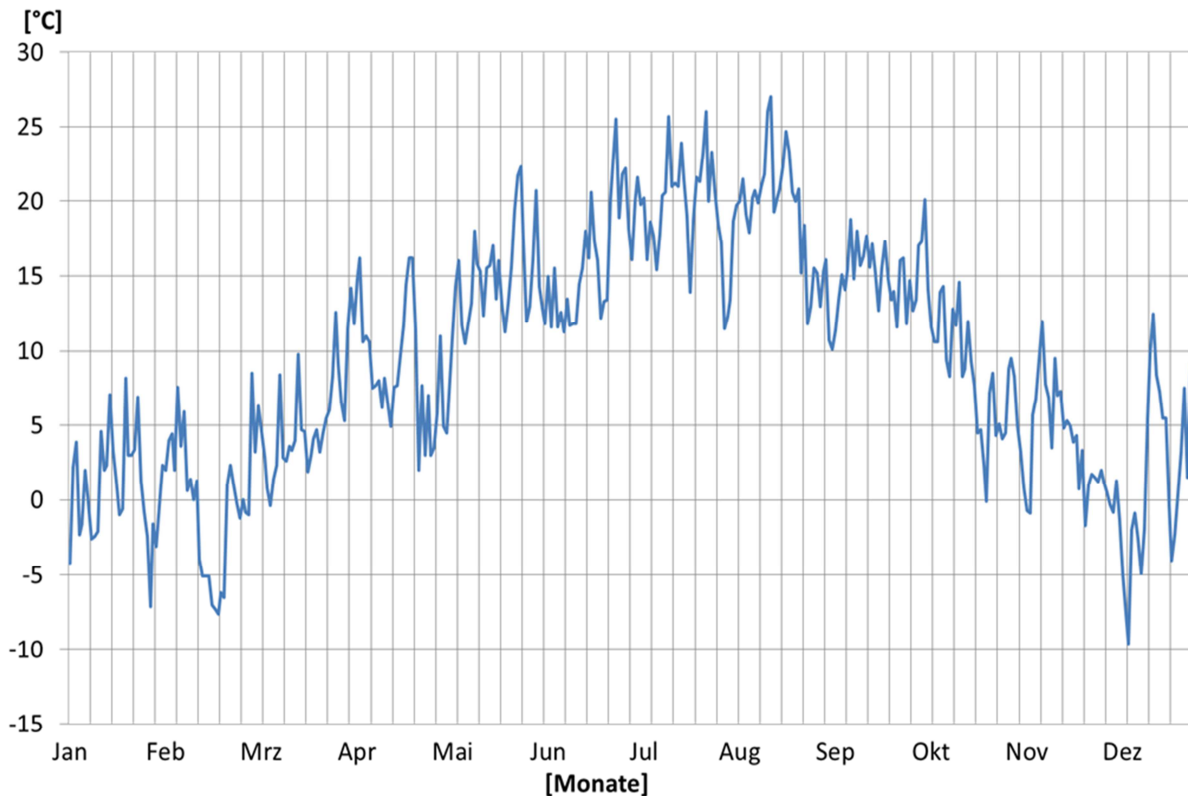


Abbildung 16: Jahresaußenlufttemperaturverlauf

Auf den ersten Blick ist nicht viel zu erkennen. Grundsätzlich wird nach einem Zustand gesucht, welcher den Einsatz der Wetterprognose sinnvoll erscheinen lässt, hierfür wurden in der nachfolgenden Abbildung folgende Daten ausgewertet:

- **minimale und maximale Außenlufttemperatur je Monat**
dieser Wert hat im Nachhinein betrachtet keine Aussagekraft über den Einsatz der Wetterprognose
- **maximale Differenz der Außenlufttemperatur an einem Tag im Monat**
ein interessanter und aussagekräftiger Wert; in den Übergangsmonaten April und Oktober lässt sich die höchste Differenz erkennen, in den Wintermonaten die niedrigste.
- **minimale Differenz der Außenlufttemperatur an einem Tag im Monat**
in den Sommermonaten ist die größte Differenz, in den Übergangsmonaten können sehr geringe Temperaturdifferenzen auftreten, im Winter noch geringere.
- **mittlere Differenz zwischen Tagesmindestwert und Tageshöchstwert in einem Monat**
Der aussagekräftigste Wert, man erkennt dass im Sommer die Temperaturdifferenz am höchsten ist, dicht gefolgt von den Übergangsmonaten.

- **Differenz zwischen Tagesmittelwert zu Vortagesmittelwert**

Dieser Wert hat im Nachhinein betrachtet, entgegen meiner Erwartungen, wenig Aussagekraft.

Monate	min. Temp [°C]	max. Temp [°C]	max. Diffe- renz an 1 Tag [°C]	min. Diffe- renz an 1 Tag [°C]	mittlere Diff. zwischen Ta- ges Min&Max [°C]	Differenz Tagesmittel- wert zum Vortagesmit- telwert [°C]
Januar	-9,8	10,6	13,5	1,8	5,60	2,6
Februar	-10,9	9,6	15,1	1,1	5,63	1,55
März	-4,6	15,8	17,8	3,6	8,84	1,38
April	-2,3	22,4	21,2	3,5	9,98	1,98
Mai	-1,4	26,8	17,1	2,4	8,92	1,90
Juni	6,7	28,7	18,4	2,6	8,98	1,57
Juli	7,1	32,3	17,9	6,0	11,05	1,97
August	5,3	34	18,5	3,8	11,05	1,44
Septem- ber	3,7	27,2	17,9	2,5	9,87	1,54
Oktober	-2,8	27	18,9	1,8	9,38	2,05
November	-3,8	13,9	13,6	0,7	5,58	1,36
Dezember	-11,9	13,7	11,4	1,3	5,51	2,48

Tabelle 1: Auswertung Wetterdaten

Interessant für diese Forschung ist aber vor allem, wann die größte Differenz zwischen Tagesmindesttemperatur und Tageshöchsttemperatur, also die Amplitude am höchsten ausbricht, da man somit berechnen kann, ob es möglich ist, einen Raum aufgrund seiner Speichermassen zu „laden bzw. zu entladen“.

In den Sommermonaten ist die maximale Temperaturdifferenz im Durchschnitt am höchsten, jedoch gibt es im Regelfall nur einen energetischen Zustand abzudecken, das Kühlen. Dass heißt, an warmen Sommertagen, die sich periodisch wiederholen, ist der Einsatz der Wetterprognose nicht sinnvoll, da es ohnehin Möglichkeiten wie das „Freecooling“ gibt, die das Gebäude über Nacht Abkühlen, um am nächsten Tag eine Überhitzung weitestgehend zu vermeiden.

5.1.1 Lastfall 1

Somit kann gesagt werden, die Wetterprognose als Unterstützung der Gebäudeautomation wäre im Sommer nur einsatzfähig, wenn es Temperaturumstürze gibt.

Diese können antizipiert werden und somit kann es vorkommen, aufgrund einer folgenden Kälteperiode das Freecooling abzuschalten, um über Nacht die Wärme nicht zu verlieren. Dieser Einsatz kann sich im umgekehrten Fall im Winter bzw. in den Übergangsmonaten ähnlich widerspiegeln. Es gibt zwar keine Möglichkeit des „Freeheating“, der Einsatz beschränkt sich auf Temperaturumstürze zu relativ warmen Außenlufttemperaturen, wo wiederum das Freecooling eingesetzt werden kann.

Die Energieeinsparung in diesem Lastfall, also bei Wetterumschwüngen, wird sich in Grenzen halten. Diese Zustände werden als atypisch eingestuft und werden keine markante Rolle bei der Energieeinsparung spielen, somit werden sie nicht weiter untersucht. Im Gegensatz dazu gibt es periodische Wettererscheinungen, diese werden im Lastfall 2 untersucht.

5.1.2 Lastfall 2

Um die typischen, täglichen Anwendungsbereiche untersuchen zu können, wird eine detailliertere Untersuchung notwendig sein, konkret wird hierfür der Außenlufttemperaturverlauf des Monats Mai analysiert.

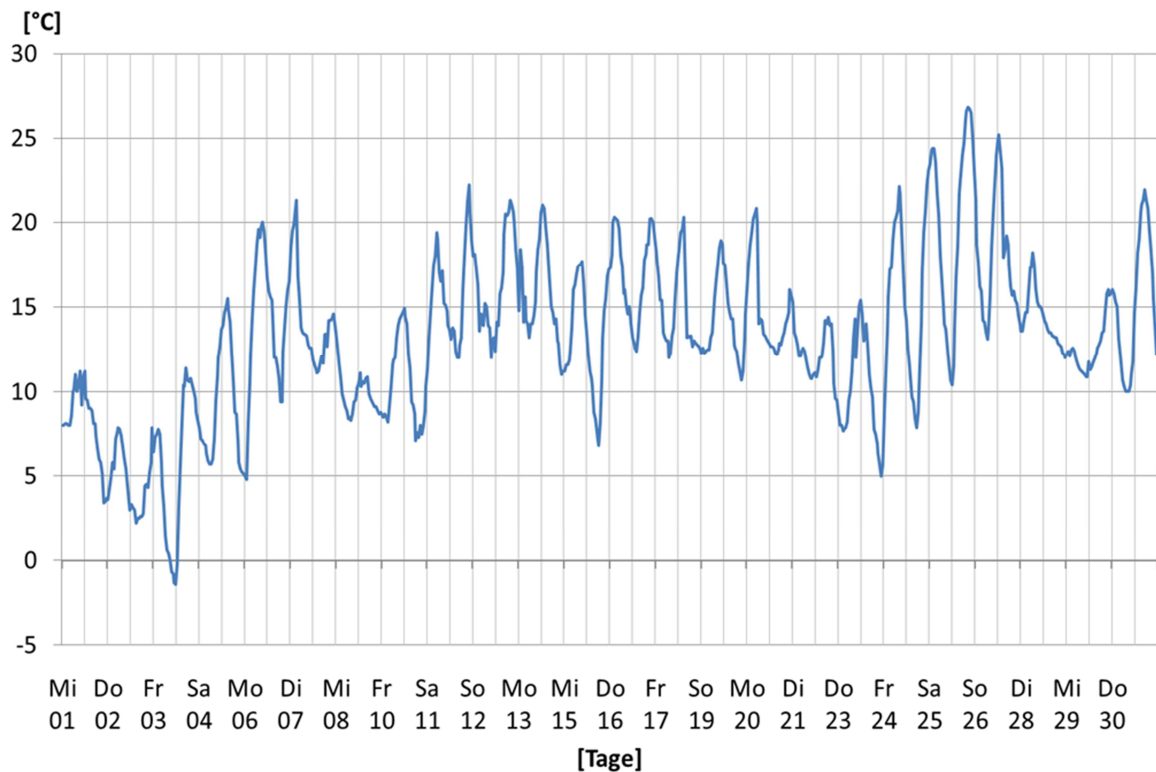


Abbildung 17: Temperaturverlauf Monat Mai

Der Mai ist ein sogenannter Übergangsmonat. Diese sind für den Einsatz der Wetterprognosegestützten Regelung deshalb interessant, weil sich je nach Anwendung und Nutzung der Gebäude, der Einsatz von Heizung und Kühlung permanent abwechseln. Sehr oft kommt es in Büroanlagen zu Zuständen, wo vormittags geheizt und nachmittags gekühlt werden muss, sofern der Komfort aufrecht bleiben soll.

Wird nun der Außenlufttemperaturverlauf des Monats Mai näher betrachtet (siehe Abbildung 17), ist zu erkennen, dass es üblich für diesen Monat ist, kalte Morgenstunden und milde Mittagsstunden, im Extremfall aber warme Temperaturen am Nachmittag zu haben.

Als Beispiel für eine Berechnung der Regelung werden die gemessenen Werte vom Freitag, den 17. Mai herangezogen (siehe Abbildung 19):

Außenlufttemperatur 07.00 Uhr: 12,4°C

Außenlufttemperatur 14.00 Uhr: 18,7°C

Außenlufttemperatur 21.00 Uhr: 17,7°C

$$T_{\text{mittel}} = (T_{\text{außen um } 7^{\circ}} + T_{\text{außen um } 14^{\circ}} + 2 \cdot T_{\text{außen um } 21^{\circ}}) \cdot 0,25$$

$$T_{\text{mittel}} = 16,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Somit würde die GLT eine Freigabe zur Aktivierung der Heizung erteilen am 18.Mai erfolgen.

So lange, bis der Außenlufttemperatursensor 17°C misst, erst dann würde der Befehl „Heizung aus“ seitens GLT erfolgen.

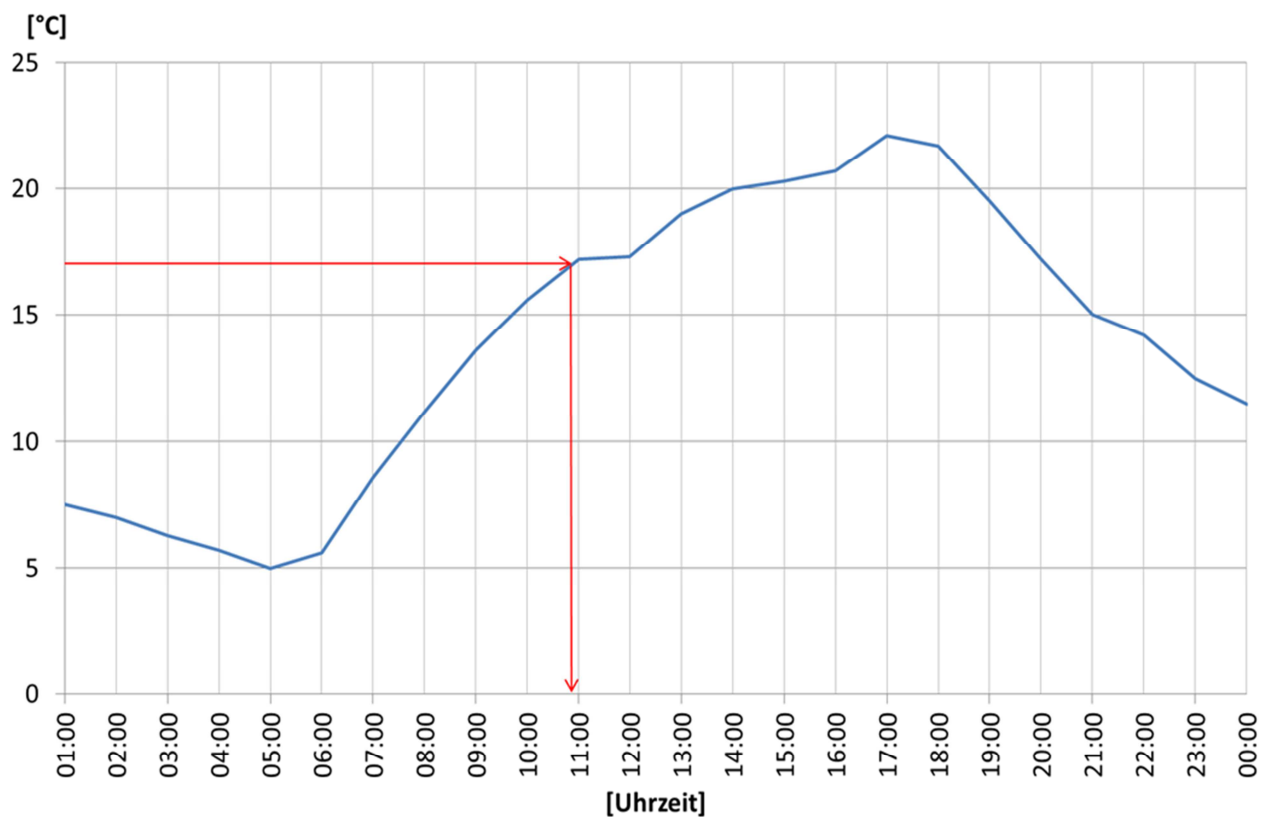


Abbildung 18: Außentemperaturverlauf 18.Mai

Wird das Diagramm des 18.Mai's näher betrachtet, so kann erkannt werden, dass diese 17°C-Stufe erst kurz vor 11.00 Uhr erreicht wird. (siehe Abbildung 18)

5.1.3 Einflussfaktoren zur Beeinflussung der Raumtemperatur

5.1.3.1 Interne Lasten

Das wäre aber nur die reine Betrachtung des Temperaturverlaufs. Hier kommen nun die individuellen internen Lasten ins Spiel, Computer, Drucker, Maschinen, Beleuchtung und der Mensch selbst sind „Energiespender“ für den Raum. Durch die Erfahrung aus mehreren Projekten bzw. Büroräumen kann in diesem Bereich standardmäßig 35 W/m^2 angesetzt werden, wohlbemerkt nur für die oben genannten „internen“ Lasten.

5.1.3.2 Solarer Eintrag

Des Weiteren trägt die solare Einstrahlung zur Erhöhung der Raumtemperatur bei. Hierbei wird zwischen direkter und indirekter Einstrahlung unterschieden.

Die Solltemperatur im Raum berücksichtigt diese oben genannten, individuellen Faktoren. Ihre plötzliche Veränderung kann aber nur zeitverzögert erfasst werden und zeitverschoben in die Regelung mit Einfließen.

5.1.3.3 Energieabgabeform

Als nächster Parameter ist die Form der Energieabgabe in den Raum entscheidend. Es wird unterschieden zwischen trägen und schnellen reagierenden Systemen. Die Unterscheidung betrifft die Dauer des Aufheizens eines Raumes. Eine Fußbodenheizung oder Bauteilaktivierung haben zur Folge, dass je nach Größe, Einbau und Lastverhalten eine Aufheizzeit von 1,5-2 Stunden benötigt wird, während ein schnell reagierendes System wie Luftheizapparate oder auch Heizkörper/Konvektoren (je nach Type) eine Aufheizzeit des Raumes von 0,15-0,5 Stunden gewährleisten können. Dies betrifft auch den umgekehrten Fall, beim Abschalten heizt ein Heizkörper nur wenige Minuten nach während eine Bauteilaktivierung 1,5-2,0 Stunden zum Neutralisieren braucht, also solange bis der Raum nicht mehr erwärmt wird.

5.1.3.4 Speichermassen

Als letzter Einflussparameter spielen die thermischen Speichermassen die wahrscheinlich größte Rolle. Im Kapitel 2.3 wurde dieser Punkt bereits detailliert thematisiert.

5.1.4 Beispiel 18.Mai

Wird jetzt wieder der 18.Mai betrachtet, kann erkannt werden, dass die Abschaltung bei 17°C um 11.30 Uhr viel zu spät ist. Wenn man alle oben genannten Parameter nun ein-

fließen lässt, die den Raum aufheizen bzw. durch ihre Trägheit nachheizen, so können Raumtemperaturen jenseits der Behaglichkeitsgrenze festgestellt werden. Dies ist sogar bei Räumen mit hohen Lasten im Winter feststellbar, dass es nachmittags unangenehm warm wird. Im besten Fall müsste hier eine Kühlung aktiviert werden, dies ist jedoch aus energetischer und ökonomischer Sicht für den Nutzer negativ.

Diese Tage in den Übergangsmonaten, die einen ähnlichen Temperaturverlauf des Vortages und des nächsten Tages haben, also keine Temperaturumstürze, werden als Fall 1 untersucht, da der Haupteinsatz der WPR beim Fall 2 liegen wird.

5.1.5 Grenzen der konventionelle Regelung

Sind die obigen Parameter nicht aufeinander abgestimmt, so kann es vorkommen, dass die Auswirkungen auf den thermischen Komfort negativ ausfallen. In der Praxis sind diese Parameter aber selten perfekt aufeinander abgestimmt, was folgende Beispiele belegen:

- Die Abschaltung des Wärmeerzeugers erfolgt standardmäßig bei 17°C, meist unabhängig von der Form der Energieeinbringung in den Raum.

Die Lösung : Das Nachheizen durch bsplw. eine Fußbodenheizung wird zeitlich berücksichtigt

- Die Abschaltung des Wärmeerzeugers erfolgt standardmäßig bei 17°C, meist unabhängig vom solaren Eintrag, wobei moderne Gebäude über die Gebäudeautomation die Jalousiesteuerung auch mitsteuern. Bei Windgeschwindigkeiten über 40 km/h werden die Sonnenschutzjalousien aber nicht runtergefahren, um eine Havarie zu vermeiden.

Die Lösung: Ungewünschtes Aufheizen durch solaren Eintrag kann verhindert werden durch Sensoren, die ein Jalousiesignal auslösen können bzw. falls zu hohe Windgeschwindigkeiten herrschen, direkt auf über die Regelung auf den Heizkreis Einfluss zu nehmen, in dem die Vorlauftemperatur abgesenkt wird

- Die Abschaltung des Wärmeerzeugers erfolgt standardmäßig bei 17°C, immer unabhängig von den internen Lasten, welche permanent veränderbar sein können.

Die Lösung: Die Personen-/zeiterfassung kann die Regelung unterstützen, in dem sie an die GLT weitergibt wie viele Personen anwesend sind bzw. wieviele Computer / Maschinen im Einsatz sind

Erkennbar ist, dass in jedem Szenario die starre Abschaltung des Heizkreises bei einer festgelegten Temperatur nicht sinnvoll ist. Vielmehr wäre ein System notwendig, dass diese Parameter und den Außentemperaturverlauf gemeinsam antizipiert und auswertet. Hier kommt das wetterprognoseunterstützte Steuern zum Einsatz.

5.2 Funktion Wetterprognose

Das System Wetterprognose besteht im wesentlichen aus einer Software, die mit der Anlagenregelung über die GLT verbunden ist. Diese Software lädt täglich Wetterprognosen auf die GLT und gleicht diese in gewissen Zeitabständen mit der tatsächlichen Außentemperatur ab, um mögliche Fehlprognose im Vorfeld ausschließen zu können. Theoretisch kann diese Software auch bei bestehenden Gebäuden und Regelungen nachgerüstet und eingesetzt werden. Es gibt Hausmeister, die dieses System bereits praktizieren. In Abhängigkeit des Wetterberichtes nutzen sie mit der Erfahrung der vorangegangenen Tage, und schalten die Heizanlage einfach früher ab, um nachmittags Überhitzungen zu vermeiden.

Nicht viel anders agiert die WPR. Diese Regelung antizipiert die Entwicklung aller einfließender Parameter, da eine Simulation erstellt wird und deren Ergebnisse auf der Software hinterlegt sind. Somit kann unter Einfluss der Wetterprognose der Temperaturverlauf simuliert und so optimal eingestellt werden.

Die Randbedingungen muss jedoch der Nutzer für sich bestimmen, also welche Temperaturen für ihn optimal sind und welche akzeptierbar.

An einem konkreten Beispiel kann dies leichter erläutert werden, hierfür wird der 22. Mai genommen:

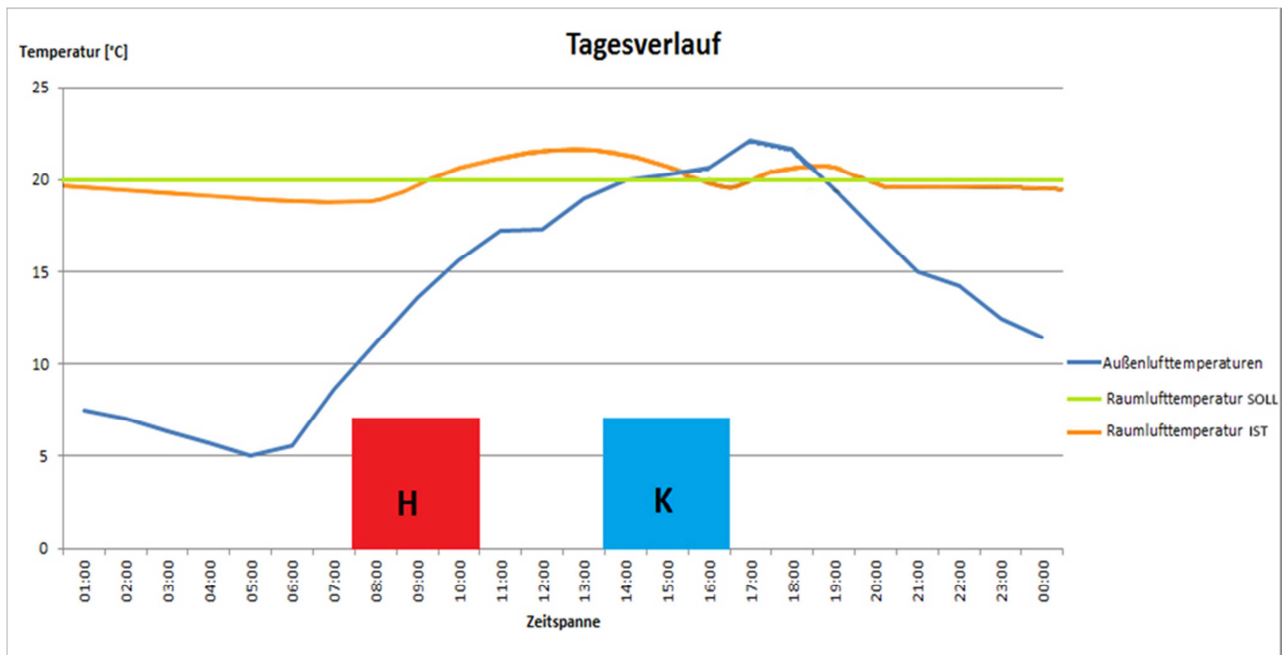


Abbildung 19: Standardregelung an einem Tag in den Übergangsmonaten (22.Mai)

Wie bereits im letzten Kapitel erwähnt, kann auch bei optimal eingestellten Regelungen nicht verhindert werden, dass die Behaglichkeitsgrenze ohne Einsatz der Kühlung überschritten wird. Angenommen die Heizung und Kühlung dieses Raumes wäre großzügig ausgelegt, so würde die Abbildung (siehe Abbildung x) in Bezug auf Raumtemperaturverläufe in etwa zutreffen.

Die WPR kann hier folgendes tun, um dem Nutzer zumindest monetäre Vorteile bringen zu können.

5.2.1 Optimierungsszenarien

3 Szenarien können hier aus ökonomischer und energetischer Sicht die Systemperformance verbessern:

Szenario 1: Der Wärmeerzeuger wird gar nicht erst eingeschalten

Szenario 2: Man toleriert eine Raum-Tiefsttemperatur von 18°C

Szenario 3: 20°C Raumtemperatur wird nicht unterschritten

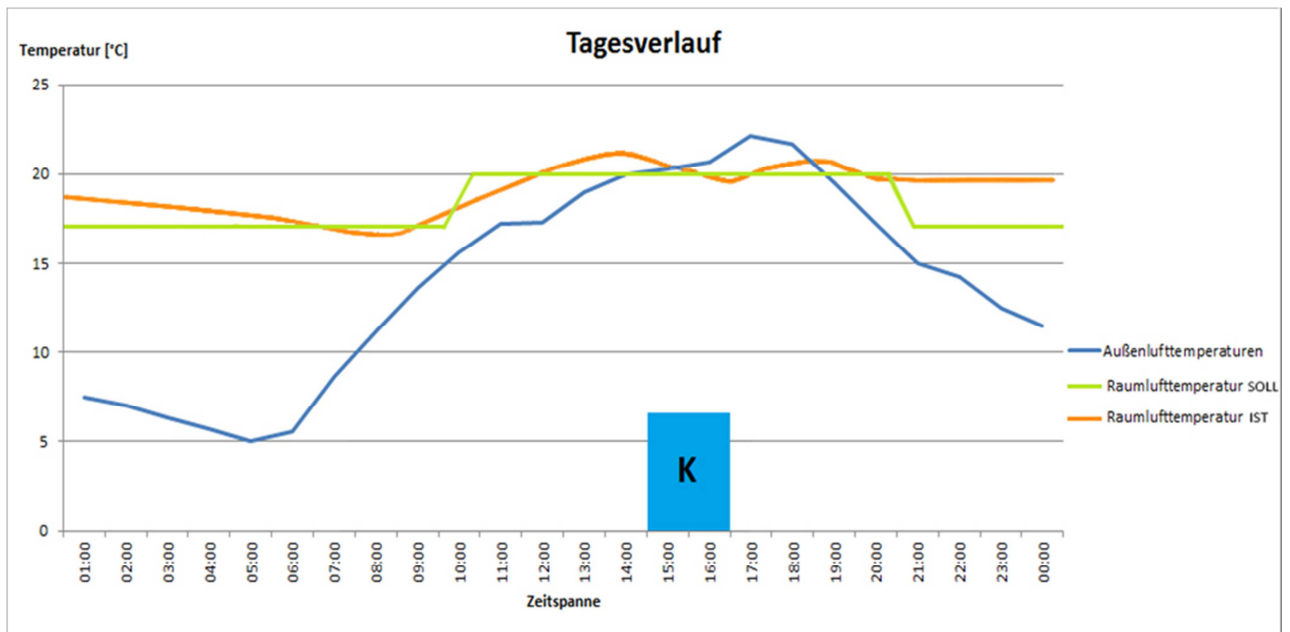


Abbildung 20: Wetterprognoseunterstützte Regelung an einem Tag in den Übergangsmonaten (22.Mai)

5.2.1.1 Szenario 1 / Szenario 2

Szenario 1 und 2 können auch in Kombination gesehen werden. Wird nun die nächste Abbildung betrachtet, ist erkennbar, dass die Heizanlage gar nicht aktiviert wird. Dies wird ermöglicht, da der Sollwert der Raumlufthtemperatur auf 18°C bis 10.00 Uhr vormittags gesenkt wurde. Die tatsächliche Raumtemperatur fällt etwas unter 18°C und erreicht dann gegen 11.30 Uhr wieder die gewünschten 20°C.

Mit diesen beiden Szenarien würde dem Nutzer eine Betriebskostenabsenkung, eine Investkostenabsenkung, ein verminderter Energieverbrauch in jeglicher Form und damit verbunden ein verminderter CO₂-Austoss bevorstehen.

Nun kommt wieder die Behaglichkeitskennlinie ins Spiel. Wenn hier nämlich eine tolerierbare Untertemperatur festgelegt wird, könnte erreicht werden, dass die Heizung gar nicht erst eingeschaltet werden müsste, und somit könnte man zusätzlich Energie sparen. Die Frage ist hier, wie viele unzufriedene Mitarbeiter werden vom Betreiber tatsächlich in Kauf genommen, da die Unzufriedenheit nicht mit den Betriebskosten in Relation steht (siehe Kapitel 2.2). Dennoch könnte man festlegen dass die nicht zu unterschreitende Raumtemperatur 18°C betragen soll, anstelle der bei uns üblichen 20°C in der Heizperiode. Diese zwei Grad Celsius bewirken eine Optimierung, sodass an manchen Tagen im Jahr keine Heizung erforderlich ist, da die Heizkennlinie abgesenkt wurde. Die 18°C liegen aber nur dann im Behaglichkeitsbereich, wenn die rel. Luftfeuchte zwischen 50-70% liegt

(siehe Abbildung 2). Um bewerten zu können, welchen Unterschied diese 2 Kelvin Differenz ausmachen, wird eine PMV/PPD Berechnung erforderlich.

PMV/PPD Berechnung

Die DIN EN ISO 7730 standardisiert ein analytisches Verfahren auf der Grundlage des PMV-PPD-Index. Alle Einflussfaktoren wie die Art der Tätigkeit, die Feuchtigkeit, die Umgebungstemperatur, die Wärmedämmung der Kleidung und die Luftgeschwindigkeit im Raum, werden auf einer Sieben-Punkte-Skala zusammengefasst:

+3 (heiß) - +2 - +1 - 0 (neutral) - -1 - -2 -3 (kalt)

Die Qualität eines thermischen Raumklimas kann auch als der vorhergesagte Prozentsatz unzufriedener Personen (PPD) ausgedrückt werden, der mit dem vorhergesagten mittleren Votum (PMV) zusammenhängt. (Schramek, 2009)

PMV	+3	+2	+1	+0,5	0	-0,5	-1	-2	-3
PPD	90%	75%	25%	10%	5%	10%	25%	75%	90%

Tabelle 2: Zusammenhang PMV und PPD

Im besten Fall ist immer noch mit 5% Unzufriedenen zu rechnen.

Aufgrund der Komplexität dieser Berechnung wurden die Werte anhand einer Simulation (www.cats-software.com/academy, 2013) errechnet. Bei einer Raumtemperatur von 20°C liegt ein PMV-Wert von -0,5 vor, bei 18°C liegt ein PMV-Wert von -1 vor.

Auf PPD umkonvertiert bedeutet dies, dass bei 18°C jeder vierte Mitarbeiter aus Behaglichkeitsgründen potenziell unzufrieden ist. Bei 20°C wäre es nur jeder Zehnte. Dies gilt jedoch maximal für den Zeitraum von 08.00 – 10.00 Uhr. Pauschal kann gesagt werden, dass durch die an der GLT hinterlegten Simulation die Speichermassen mitberücksichtigt werden und das Raumklima somit besser abgestimmt werden kann. Insgesamt verbessert sich das Wohlbefinden der Mitarbeiter. In der Praxis müsste sich der Nutzer entscheiden, ob er diese zwei Stunden erhöhte Unzufriedenheit in Kauf nimmt, da am restlichen Tag die Unzufriedenheit niedriger ist als ohne WPR.

5.2.1.2 Szenario 3

Bei Szenario 3, dass eine Untergrenze von 20°C nicht unterschritten wird, bringt wesentlich weniger Einsparungen als Szenario 1+2. Ein Vorteil hier ist jedoch die Zufriedenheit des Nutzers bezüglich Behaglichkeit. Ein weiterer Vorteil ist die Einsparung gegenüber konventionellen Regelungen, welche den Wärmeerzeuger mittels Fixwert (oben genannt mit 17°C) abschaltet. Die Regelung bei diesem Szenario würde die Heizanlage bei einer Raumtemperatur von 20°C ODER bei Überschreiten einer Außentemperatur von 17°C abschalten. Dies ist eine Regelung, die direkter funktioniert und somit schneller greift. Nachteil hier ist der Bedarf von Temperaturfühlern in den Räumen, sowohl vom Standpunkt der Investitionskosten als auch von den Betriebs – und Wartungskosten.

6 Dynamische Berechnung - Simulation

Die Berechnung wird anhand der beiden Fallbeispiele, Büro und Produktion, erstellt. Hierfür wird das Programm „Solar-Computer“ verwendet. Als Grundlage stützt sich diese Berechnung an die Norm VDI 2078. Es beschreibt ein realitätsnahes Nachweisverfahren für den sommerlichen Wärmeschutz mittels dynamisch-thermischer Simulationsrechnung. Insgesamt werden 4 Simulationen durchgeführt, 2 je Zone. Diese 2 Simulationen unterteilen sich in eine Berechnung mit Einfluss der WPR und ohne deren Einfluss.

6.1.1 Bauteilberechnung

Ziel dieser Berechnung ist es herauszufinden, welche Einsparungsmöglichkeit die WPR bei den beiden Zonen aufweisen kann. Der erste Schritt ist die Eingabe aller räumlichen Daten, sowie der exakte Aufbau der Außenwände, Außenfenster, Außentüren, Bodenaufbau und Dachaufbau. Der Bauteilaufbau dient dem Programm um die exakten U-Werte zu ermitteln. Bei der Untersuchung welche Zonen in Frage kommen können für eine Analyse und Berechnung, wurden das Büro und die Produktion aus einem Grund gewählt: Um kein verfälschtes Ergebnis bei der Berechnung zu erhalten, wurde darauf geachtet, dass ähnlichen Gebäudehüllen miteinander verglichen werden. Trotz ihrer unterschiedlichen geometrischen Formen und Nutzungen weisen sie idente U-Werte auf. Der Grund der Implementierung der Gebäudehülle ist jener, dass die Speichermassen berechnet werden und miteinfließen.

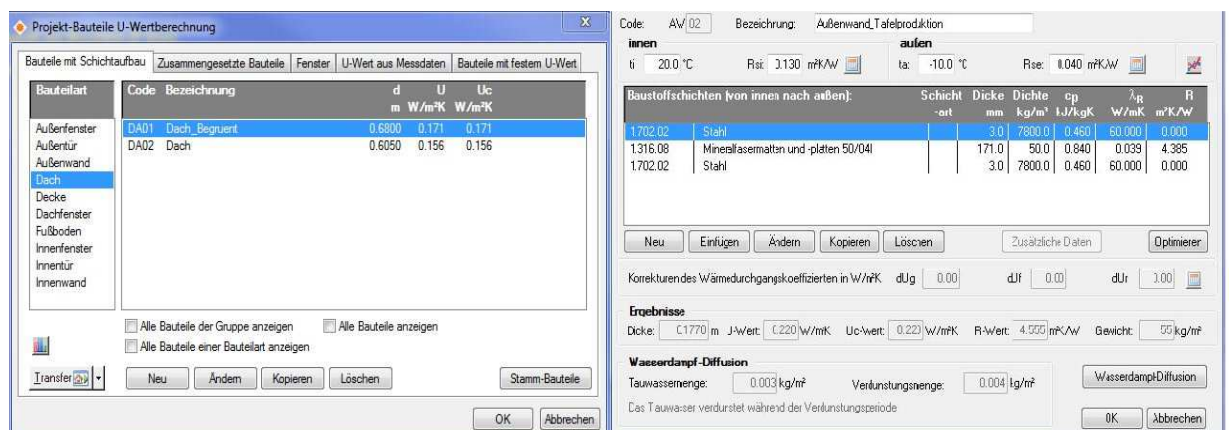


Abbildung 21: Auszug aus der Bauteilberechnung mittels Solar-Computer

6.1.2 Sonnenschutz

Desweiteren wird bei beiden Zonen die solare Einstrahlung mit berücksichtigt. Die Sonnenschutzsteuerung ist so geregelt, dass der Sonnenschutz

- bei mittleren Außentemperaturen unter 5°C geöffnet bleibt.
- bei Windgeschwindigkeiten über 40 km/h geöffnet bleibt.
- soweit reduziert wird, dass das Einschalten der Beleuchtung vermieden werden kann.

Ansonsten wird der Sonnenschutz bei direkter Strahlung, während der Betriebszeiten, immer geschlossen.

6.2 Parameter Nutzung und Konditionierung

6.2.1 Interne Lasten

Wesentliche Parameter zur Ermittlung der Temperatur- und Verbrauchskennlinien sind die Anzahl der Personen, die Anzahl der Maschinen/ Drucker/ Computer, die Stärke und Betriebszeiten der Beleuchtung und die Abwärme von sonstigen Geräten bzw. Maschinen.

Folgende Daten werden zur Simulation herangezogen:

	Büro	Tafelproduktion
Personen	16	40
Beleuchtung	400 Lux	300 Lux
Computer	16	5
Drucker	4	1
Maschinenabwärme	-	25 kW

Tabelle 3: Gegenüberstellung interner Lasten zwischen Büro und Tafelproduktion

6.2.2 Raumtemperaturen und Betriebszeiten

Die Betriebszeiten und Raumtemperaturen sind für beide Zonen ähnlich eingeteilt.

Die Hauptbetriebszeit ist von Montag bis Freitag von 08.00 - 18.00 Uhr.

Die Nebenbetriebszeit 1 ist von Montag bis Freitag von 06.00 – 08.00 Uhr.

Die Nebenbetriebszeit 2 ist montags bis freitags von 18.00 – 06.00 Uhr und an Nichtarbeitstagen.

Die Raumluft-Solltemperaturen sind für beide Zonen im Winter 20°C, im Sommer 24°C. Der Sommerwert wird aber nicht einzuhalten sein, da in der Tafelproduktion keine Kühlung bereitsteht und im Büro nur 30% der Kühllast abgedeckt sind. Diese Temperaturen gelten nur für die Hauptbetriebszeit, die Temperaturen der Nebenbetriebszeiten werden in den nächsten Kapiteln (6.3.1 & 6.4.1 Betriebsweise) erläutert.

Die Raumtemperaturen gelten strikt für die Referenzberechnungen, also jene ohne WPR. Für die Berechnung mit WPR sind die Temperaturen variabel in einem bestimmten Schwankungsbereich, um die Energieerzeugung optimal entlasten zu können, aber nie unter 18°C.

Die Zulufttemperatur der mechanischen Luftversorgung im Büro beträgt im Sommer 18°C, im Winter 24°C.

6.3 Tafelproduktion – Zone I

6.3.1 Betriebsweise

Bei der Tafelproduktion wird nur die Heizung als Energieeinbringung mitberücksichtigt. Es werden tatsächliche eingebaute Leistungen zur Berechnung herangezogen. Die Kühlung würde das Ergebnis verfälschen, da die Bandbreite, wieviel Prozent der Kühllast von 0-100% abzudecken ist, schwankt. Diese 100% Prozent beziehen sich auf eine gewünschte Raumtemperatur, welche nicht vorliegt und theoretisch frei definierbar ist. Da zu viele Parameter unbekannt bzw. frei wählbar sind, wird die Kühlung nicht berücksichtigt zur Simulation.

Die Betriebsweise der Tafelproduktion ist in der nachfolgenden Tabelle 4 dargestellt:

	Tafelproduktion mit WPR	Tafelproduktion ohne WPR
HBZ 1	Heizen mit variablen Sollwerten, nicht unter 18°C	Heizen auf konstante 20°C
NBZ 1	Vorheizen auf 15 – 18°C	Vorheizen auf 15 – 18°C
NBZ 2	Keine Heizung	Keine Heizung

Tabelle 4: Betriebsweise Tafelproduktion

Um ermitteln zu können, welche Einsparungen zu erwarten sind, wird zuerst die Simulation ohne WPR untersucht.

6.3.2 Simulation ohne WPR

Mit allen eingegeben Parametern kann somit ein Modell errechnet werden. Der Output dieser Simulation ist grundsätzlich breit gestreut. Für diese Arbeit sind jedoch nur der Energieverbrauch und die Temperaturverläufe von Bedeutung. Grundsätzlich wird die Heizung ideal berechnet, das bedeutet dass keine Verluste durch Regelungenauigkeiten mitberücksichtigt werden.

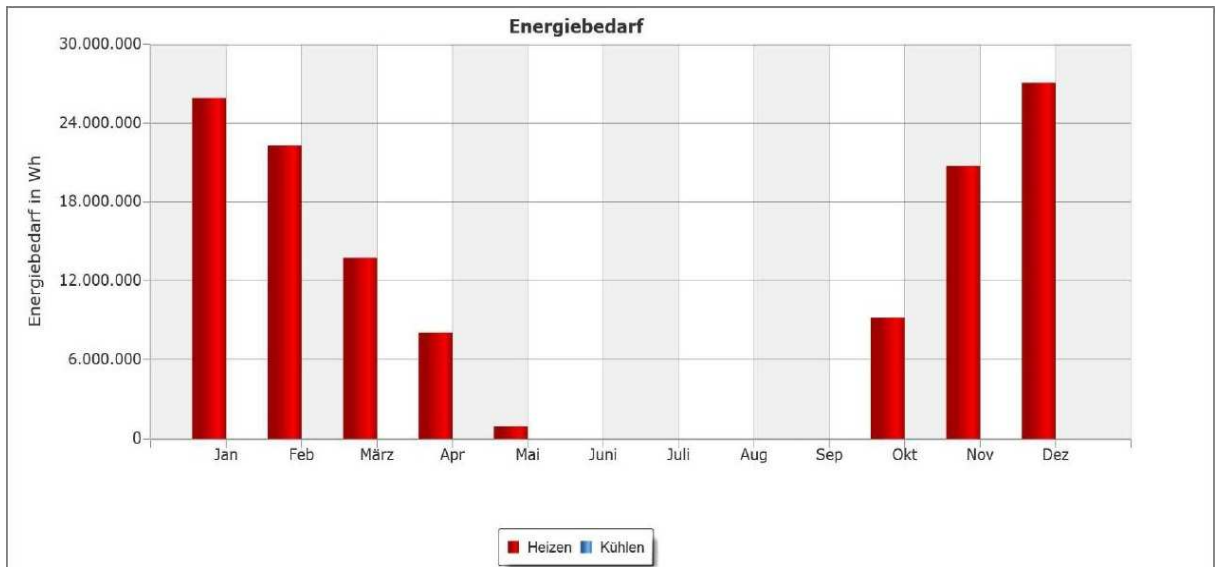


Abbildung 22: Monatssummen des Energieverbrauches in der Tafelproduktion ohne WPR

Im Diagramm 22 sind die Energieverbrauchsdaten eines ganzen Jahres in Form von Monatssummen angezeigt. Die Einheit ist Wh. Der Jahresverbrauch beträgt umgerechnet 127.903 kWh bzw. 57,35 kWh/m²a für die Tafelproduktion.

Für die Einsparungsberechnung kommen aber nur jene Tage in Frage, wo die Raumtemperatur 23°C übersteigen würde.

Dies trifft bei ca. 115 Tagen im Jahr zu, somit sollte die Berechnung exakt für diese 115 Tage durchgeführt werden. Da es sehr aufwendig ist jeden Tag einzeln zu simulieren, werden die Monate März, April, Oktober und November pauschal herangezogen.

Der Energieverbrauch für diese 4 Monate beträgt 51.698 kWh.

6.3.3 Simulation mit WPR

Die WPR wird mittels Wetterprognose den Wettertrend antizipieren. Technisch gesprochen wird jeder Tag, wo das Heizen erforderlich ist und gleichzeitig eine Raumtemperatur über 23°C aufscheint adaptiert. Diese Berechnung kann genauso mit einer Raumtemperatur von maximal 22°C oder sogar 21°C durchgeführt werden. Aufgrund der thermischen Schichtung im Raum und aufgrund der thermischen Behaglichkeit des Nutzers wird die Berechnung auf 23°C angesetzt, damit der Vergleich aussagekräftig ist.

In der Simulation erfolgt diese Adaptierung insofern, als dass die Hauptbetriebszeit auf 10.00 – 18.00 Uhr angesetzt wird und eine Nebenbetriebszeit 3 angelegt wird mit den

Betriebszeiten von 08.00 – 10.00 Uhr. In dieser NBZ ist die Temperatur variabel zwischen 18°C – 20°C.

Somit ergibt sich ein neues Energiebedarfsdiagramm. Es ist im nachfolgenden Diagramm 23 zu erkennen, das in jedem Monat der Heizperiode eine Senkung erreicht werden konnte, im Mai beispielsweise kann auf die Heizung überhaupt verzichtet werden.

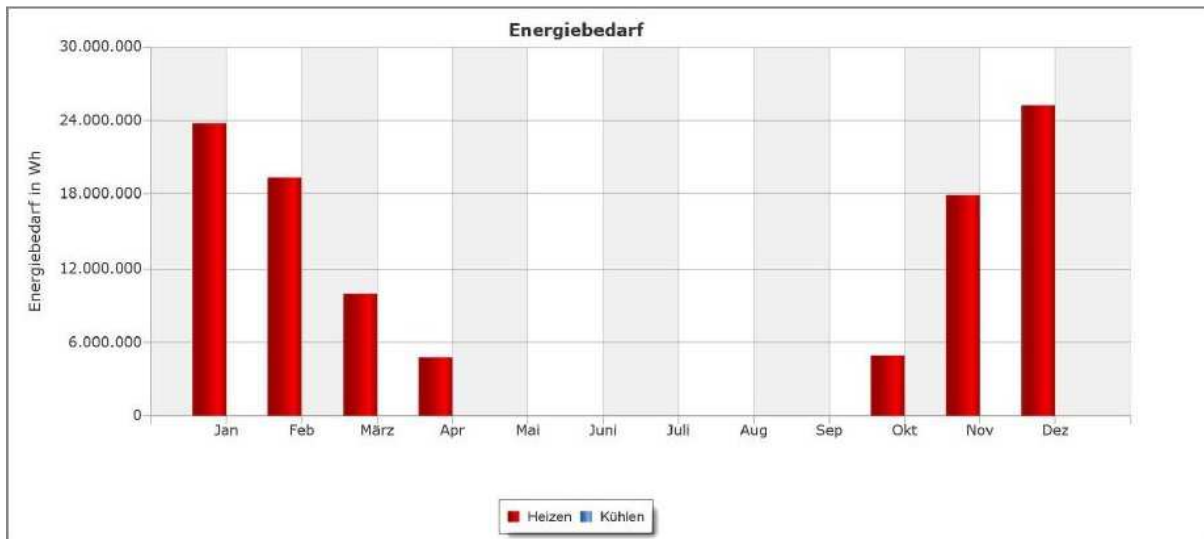


Abbildung 23: Monatssummen des Energieverbrauches in der Tafelproduktion mit WPR

In Zahlen ausgedrückt ergibt sich ein Jahresenergieverbrauch von 105.942 kWh. Für die Vergleichsberechnung, mit und ohne WPR, sind die Monate März, April, Oktober und November relevant. Der Verbrauch dieser 4 Monate beträgt 37.598 kWh.

Gegenüber dem Energieverlauf ohne WPR ergibt dies eine Einsparung von 14.100 kWh, umgerechnet 6,32 kWh/m² und Jahr.

In Prozent ergibt dies eine Einsparung von 27% gegenüber der Anwendung ohne WPR.

6.3.4 Temperaturen in der Tafelproduktion

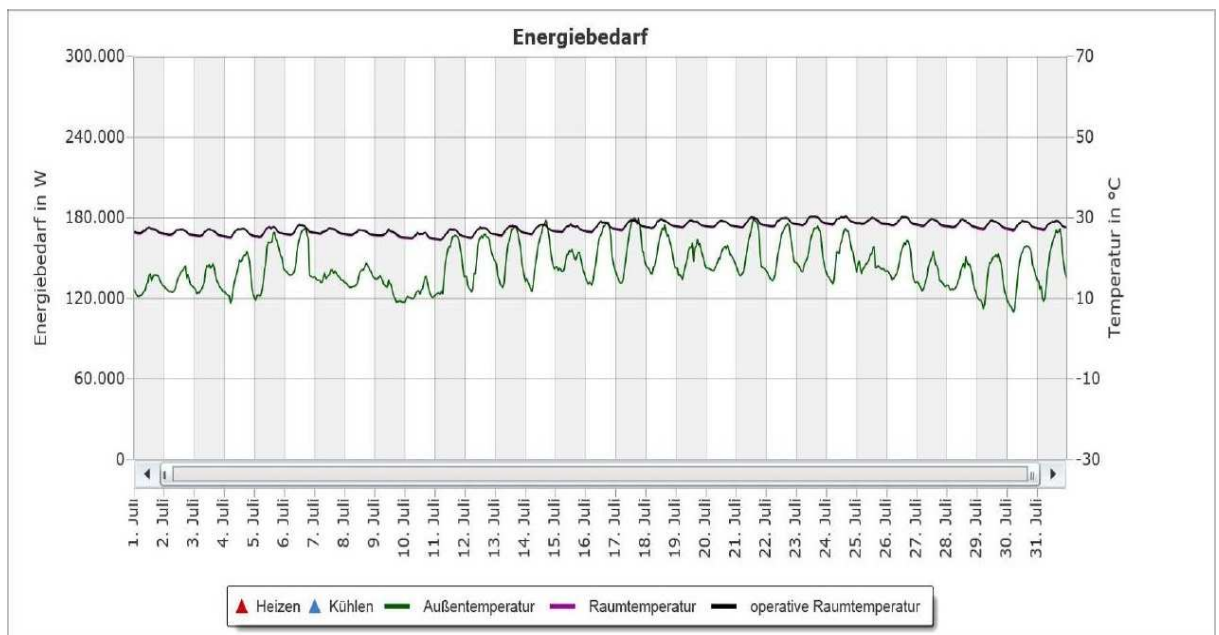


Abbildung 24: Temperaturverlauf im Juli in der Tafelproduktion

Im Monat Juli wird anhand des Diagrammes 24 erkennbar, dass die Tafelproduktion ohne Kühlung Temperaturen über 30°C erreicht. Die Speichermassen können durch das Nachschwingen noch extremere Raumtemperaturen verhindern. Um die sommerliche Überwärmung darstellen zu können, wurde der 15. Juli ausgewählt. Anhand dieses Tages wird eine Tagesverlaufstabelle erstellt:

Uhrzeit		Temperaturen		
von Uhr	bis Uhr	$t_{\text{außen}}$ °C	t_{Raum} °C	$t_{\text{op. Raum}}$ °C
0:00	1:00	17.7	26.6	26.8
1:00	2:00	17.8	26.6	26.7
2:00	3:00	16.9	26.5	26.7
3:00	4:00	17.5	26.5	26.7
4:00	5:00	17.3	26.4	26.6
5:00	6:00	16.7	26.4	26.6
6:00	7:00	16.7	26.6	26.7
7:00	8:00	17.4	27.1	27.2
8:00	9:00	19.5	27.6	27.6
9:00	10:00	20.9	27.9	27.9
10:00	11:00	20.9	27.9	27.9
11:00	12:00	21.9	28.1	28.1
12:00	13:00	21.6	28.5	28.5
13:00	14:00	22.1	28.1	28.1
14:00	15:00	21.0	28.0	28.0
15:00	16:00	20.0	27.8	27.9
16:00	17:00	19.6	27.7	27.7
17:00	18:00	20.6	27.9	28.0
18:00	19:00	21.4	27.7	27.8
19:00	20:00	21.4	27.3	27.4
20:00	21:00	20.1	27.0	27.1
21:00	22:00	18.5	26.9	27.0
22:00	23:00	16.9	26.7	26.9
23:00	24:00	16.2	26.7	26.9

Tabelle 5: Tagestemperaturverlauf 15.Juli

Diese Erkenntnisse sind für den Nutzer von Vorteil, es kann im Vorhinein errechnet werden welche Temperaturen tolerierbar sind bzw. kann der Energieverbrauch bei einer bestimmten Solltemperatur einfach bestimmt werden. In den Phasen Vorentwurf und Entwurf ist diese Simulation für jeden Gebäudetechnikplaner somit auch eine große Unterstützung.

Interessant für diese Arbeit ist auch der Vergleich der Raumtemperaturen am 18.Mai mit und ohne WPR. Im Anhang sind diese Tabellen dargestellt, als Tabelle 7 ist der Tagestemperaturverlauf ohne WPR und als Tabelle 8 mit WPR ersichtlich. Markant ist, dass die Temperaturen in Tabelle 8 etwas unter den Temperaturen aus Tabelle 7 sind. Die WPR begünstigt somit neben der Energieeinsparung auch angenehmere Raumbedingungen.

6.4 Büro – Zone II

6.4.1 Betriebsweise

Im Büro wird die Heizung über Konvektoren und die mechanische Lüftung im Verhältnis 60/40 abgedeckt. Die Kühlung erfolgt über die Lüftung und macht 30% der Kühllast aus. Bei der Kühlung wird die Einsparung mit der WPR detaillierter berechnet. Jene Tage, an denen keine Heizung aktiviert wird und dennoch eine Kühlung aufgrund hoher Raumtemperaturen erforderlich ist, werden nicht als Einsparungspotenzial angesehen. Nur die Kühlung, welche aufgrund der Überhitzung des Raumes, hervorgerufen durch zu Langes Aufheizen, kann vermieden und somit eingespart werden. Das sind alle Tage, an denen gleichzeitig geheizt und gekühlt wird, sofern eine Raumtemperatur von 18°C nicht unterschritten wird. Ausnahme sind alle Tage an denen die Raumtemperatur unter 18°C sind, diese Grenze soll aus Behaglichkeitsgründen eingehalten werden.

Die Betriebsweise der Regelung ist der nachfolgenden Tabelle 6 zu entnehmen:

	Büro mit WPR	Büro ohne WPR
HBZ 1	Heizen mit variablen Sollwerten, nicht unter 18°C, Kühlen auf 24°C	Heizen auf konstante 20°C, Kühlen auf 24°C
NBZ 1	Vorheizen auf 15 – 18°C, Freecooling bei Bedarf (Aktivierung lt. Kap. 4.3.9)	Vorheizen auf 15 – 18°C, Freecooling bei Bedarf (Aktivierung lt. Kap. 4.3.9)
NBZ 2	Keine Heizung, Freecooling bei Bedarf (Aktivierung lt. Kap. 4.3.9)	Keine Heizung, Freecooling bei Bedarf (Aktivierung lt. Kap. 4.3.9)

Tabelle 6: Betriebsweise Büro

6.4.2 Simulation ohne WPR

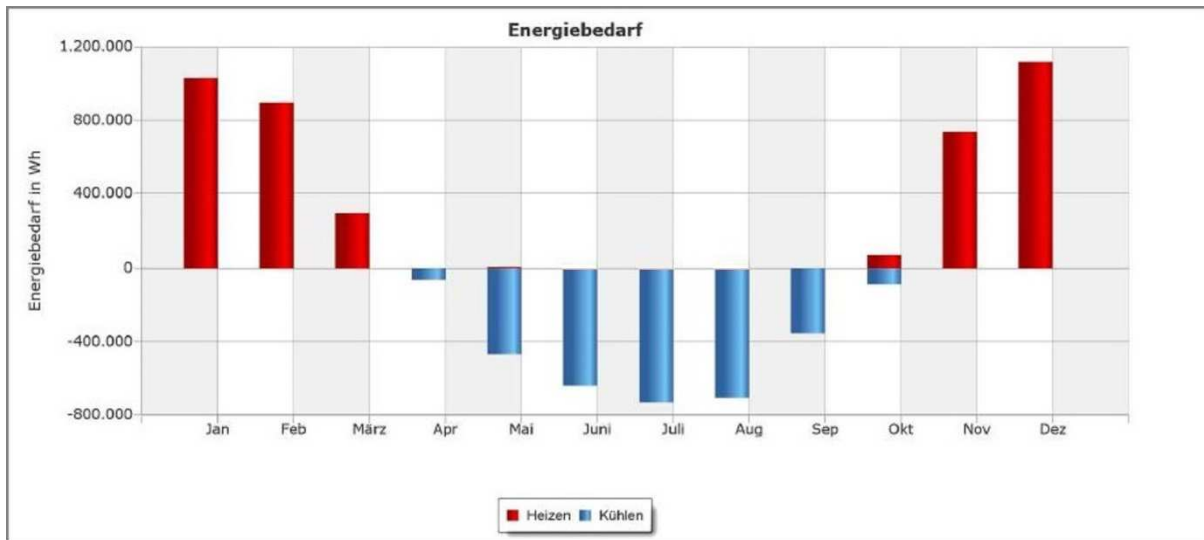


Abbildung 25: Monatssummen des Energieverbrauches im Büro ohne WPR

Für die Einsparungsberechnung der Heizung kommen, wie auch bei der Tafelproduktion, nur jene Tage in Frage, wo die Raumtemperatur ohne Aktivierung einer Kühlung 23°C übersteigen würde.

Dies trifft bei ca. 140 Tagen im Jahr zu. Für den Vergleich mit der Tafelproduktion werden aber nur die Monate März, April, Oktober und November pauschal herangezogen und simuliert.

Der Energieverbrauch der Heizung für diese 4 Monate beträgt 1.110 kWh bzw. 8,1 kWh/m²a.

Für die Einsparungsberechnung der Kühlung treffen nur ca. 20 Tage in den Übergangsmonaten zu, die die Kriterien wie unter 6.4.1 Betriebsweise beschrieben zutreffen.

Der Energieverbrauch der Kühlung mit Einsparungspotential beträgt somit 155 kWh bzw. 1,14 kWh/m²a.

6.4.3 Simulation mit WPR

An jedem Tag, an dem das Heizen erforderlich ist und gleichzeitig eine Raumtemperatur über 23°C errechnet würde, wird wie auch bei Kapitel 6.3.3 eine NBZ 3 eingeführt. Diese umfasst den Zeitraum von 08.00 – 10.00 Uhr.

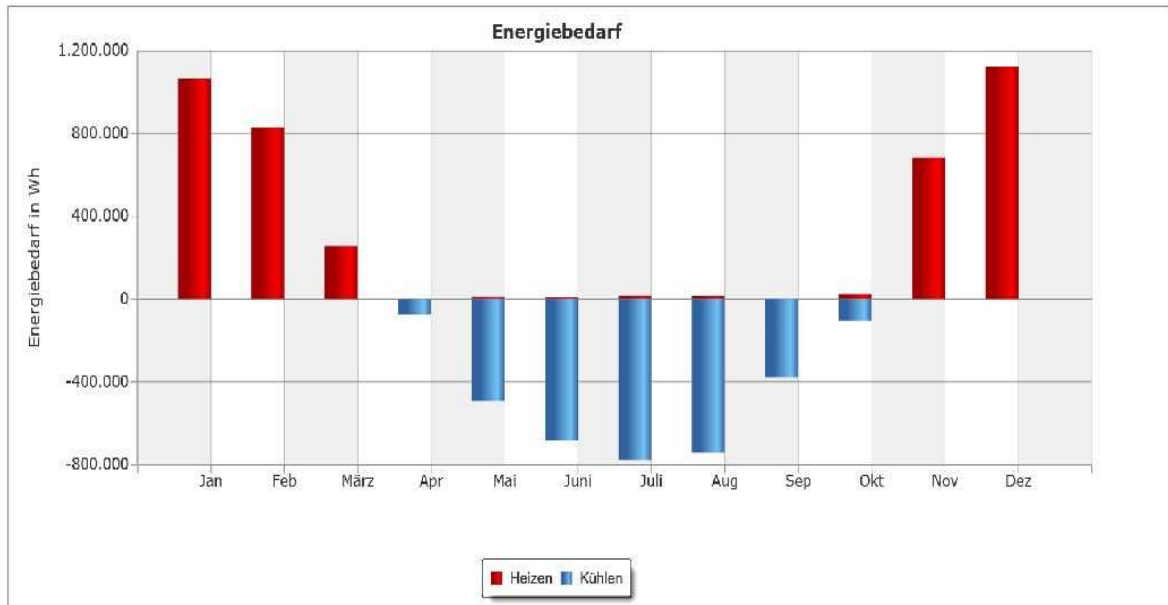


Abbildung 26: Monatssummen des Energieverbrauches im Büro mit WPR

Aus Abbildung 26 kann entnommen werden, dass der Energieverbrauch in den Monaten März, April, Oktober und November 954 kWh bzw. 7,1 kWh/m²a beträgt.

Gegenüber dem Energieverlauf ohne WPR ergibt dies heizungsseitig eine Einsparung von 146 kWh, umgerechnet 1,07 kWh/m² und Jahr.

In Prozent ergibt dies eine Einsparung von 13% gegenüber der Anwendung ohne WPR.

Bei der Kühlung ist der Energieverbrauch mit 154 kWh (im Vergleich zu 155 kWh ohne WPR) nahezu ident. Somit ergibt sich bei der Kühlung keine Einsparung gegenüber der Regelung ohne WPR. Die Kühlung deckt jedoch nur 30% der Kühllast ab, bei 100% oder auch höherer Abdeckung der Kühllast bestünde durchaus ein Einsparungspotenzial.

6.4.4 Temperaturen im Büro

Für den Nutzer von großer Bedeutung sind die Temperaturen, welche sich infolge der Klimatisierung einstellen. Im Anhang Teil 2 sind die Tagestemperaturen des 15. April ohne WPR in Tabelle 9 abgebildet, die Tagestemperaturen mit WPR in Tabelle 10. Im Gegensatz zur Produktion wird hier aber nicht der 25. Mai betrachtet, weil an diesem Tag diesel-

ben Temperaturen vorherrschen, da die Raumtemperatur nie unter 20°C fällt. Am 15. April ist folgendes zu erkennen: In der Früh um 09.00 Uhr beträgt die Raumtemperatur bei der Simulation ohne WPR 19,1°C und bei der Simulation mit WPR 19,5°C, um 14.00 beträgt die Raumtemperatur bei der Simulation ohne WPR 20,6°C und bei der Simulation mit WPR 20,1°C. Trotz geringer Differenzen ist ersichtlich, dass die Schwankungen bei der Simulation mit WPR etwas kleiner sind. Die WPR agiert somit in Bezug auf das Raumklima milder als konventionelle Regelungen.

7 Auswertung – Einsparung durch WPR

7.1 Vergleich Büro - Tafelproduktion

Um eine exakte Wirtschaftlichkeitsberechnung durchführen zu können, bedarf es einer Gegenrechnung mit den Investitions-, Wartungs- und Betriebskosten der durch die WPR verursachten Kosten. Da die WPR aber noch in den Kinderschuhen steckt und noch keine serienmäßige Angebote vorzufinden sind, wäre das Miteinfließen in die Berechnung an dieser Stelle unqualifiziert und wird daher nicht weiter verfolgt. Dem entgegen könnten Förderungen auch miteinfließen.

Aufgrund dessen wird für die Berechnung die reine Energieeinsparung herangezogen.

In der Produktion, wo die träge Energieeinbringung ausgeführt wird, erreicht die WPR 27% Energieeinsparung gegenüber der konventionellen Regelung. Dies entspricht 14.100 kWh/a bzw. 6,32 kWh/m²a.

Monetär umgerechnet mit dem Preis für Erdgas, 5,7 Cent pro kWh

(<http://www.vkw.at/inhalt/at/3809.htm>), ergibt sich eine Einsparung von 804€ pro Jahr.

In Bezug auf den CO₂-Ausstoss wird eine Einsparung von 8,04 Tonnen erreicht. Dies wird aus dem aktuellen Strommix für Deutschland errechnet, dieser beträgt 570g/kWh

(http://www.co2-handel.de/article386_16343.html).

Im Büro wird hingegen „nur“ eine Einsparung von 13% erreicht, Hauptgrund ist die schnellere Energieeinbringung in den Raum. Umgerechnet entspricht dies 146 kWh bzw. 1,07 kWh/m²a.

Finanziell betrachtet ergibt sich auf einer Bürofläche von 136 m² eine Einsparung von 8,32 € pro Jahr.

In Sachen CO₂-Ausstoss wird eine Reduzierung von 83 kg erreicht.

Im direkten Vergleich ist erkennbar, dass die spezifische Einsparung bei der Produktion fast um das 6-fache größer als beim Büro ist. (6,32 zu 1,07 kWh/m²a)

Somit bestätigt sich die anfangs angenommene Hypothese: *„je träger die Form der Energieeinbringung, desto mehr Einsparungspotenzial ermöglicht die WPR.“*

7.2 Alternative Methoden zur Energiereduktion mit WPR

Die Wetterprognose kann auch ausschließlich für Freecoolingzwecke verwendet werden. Durch die Möglichkeit, die Temperaturen des nächsten Tages vorausszusehen, kann das Freecooling bedarfsgerecht eingesetzt werden. Ohne die WPR kann sich das Freecooling bei Temperaturumschwüngen problematisch auswirken, da bei Kaltfronten zu viel Energie verloren gehen kann und somit unnötig die Heizungsanlage belastet.

Ein weitere Möglichkeit ist es, solare Einträge als Energiequelle zu nutzen. Sind solare Einträge im Winter vorhanden und ein Raum ist nicht besetzt (vor oder nach einem Meeting, oder Ähnlichem), so können die Jalousien hochfahren, um die Heizung zu entlasten. Diese Anwendung wird erst möglich durch gute Wettervorhersagen, nur so kann die Regelung optimal erfolgen.

Des Weiteren ist die Verwendung von Zeiterfassungsportalen sinnvoll, um täglich die Energiebedarfsanalyse feststellen zu können. Angenommen in einem Büro arbeiten 100 Personen, 20 von ihnen kommen an einem Tag nicht zur Arbeit, so reduziert sich die interne Last (Mensch 100 W, Computer 80 W) um 3,6 kW „Heizleistung“. Fließen diese Werte in die Simulation mit ein, kann täglich ein optimales Regelprogramm erstellt werden. Ein genereller Nachteil ist die Verwendung von „worst case“ Heizlastberechnungen. Gemeint ist die Heizlastberechnung nach einem extrem kalten Tag, welcher in der Praxis nur selten vorkommt. Dadurch steigt die Unwirtschaftlichkeit an anderen Tagen, da die Vorlauftemperatur unnötig hoch ist. Nimmt der Nutzer an diesen wenigen Extremtagen eine Untertemperatur in Kauf, dass heißt die 20°C bzw. 18°C aus dieser Arbeit werden knapp unterschritten, kann die gesamte Heizungsanlage knapper und somit kostengünstiger dimensioniert werden. Durch die Simulation kann eine übersichtliche und exakte Temperatúrauswertung erfolgen.

8 Fazit

Basierend auf den Untersuchungen der Arbeit konnte abgeleitet werden, dass die Änderung der Außentemperatur in Gebäuden mit gutem Dämmstandard wie z.B. beim Passivhaus eher eine untergeordnete Rolle in der Wetterprognose unterstützten Gebäudeautomatisierung zufällt. Der direkten Strahlung und dem damit zusammenhängenden solaren Eintrag in das Gebäude wird hingegen eine wichtige Rolle in der Regelungsentscheidung zuteil. Weiterführend lässt sich aus diesen Erkenntnissen die Übertragbarkeit der Ergebnisse herleiten. Eine Wetterprognose unterstützte Regelung wird ihre Wirkung dann voll entfalten können, wenn ein träges Verteilsystem für Heizung und/oder Kühlung vorliegt und solare Architektur eine Rolle spielt. Eine sinnvolle Anwendung ist somit im komplexen Zusammenspiel von thermischer Trägheit und kontrollierter Nutzung von solaren Gewinnen zu suchen.

Durch den Umstand, dass für die Ermittlung der Wetterdaten real gemessene Werte anstelle von Wetterprognosen als Grundlage für diese Arbeit herangezogen werden, kann keine klare Aussage über den Einfluss der Wetterprognose getroffen werden. Die technischen Rahmenbedingungen dieser Arbeit ermöglichen keine Simulation verschiedener Szenarien wie unterschiedliche Prognosequalität, unterschiedliche geographische Lage oder unterschiedliche Wettersituationen. Die Vorhersage der solaren Einstrahlung bringt mit Sicherheit die größten Schwierigkeiten für die Meteorologen mit sich, aber gleichzeitig ist es der wichtigste Faktor der Wetterprognose als Regelgröße. Die Herausforderung hierbei liegt an der geographischen Engmaschigkeit des meteorologischen Netzes, da bereits Entfernungen von 100 Metern unterschiedliche Zustände (heiter bzw. bewölkt) hervorrufen können und so die Regelung verfälschen.

Ein wesentlicher Vorteil der WPR ist auch die einfache Adaptierung in bereits bestehende Gebäude. Die Sanierung eines Bestandsgebäudes fällt fast immer kostenintensiv aus, da meistens die Gebäudehülle aufgewertet wird. Auch Betriebsunterbrechungen und Produktionsausfälle können anfallen. Die Nachrüstung der WPR hingegen kann betriebsschonender und günstiger installiert werden. Wie vorhin schon erwähnt gilt der Leitsatz: Je schlechter die Dämmwerte der Außenhülle, umso stärker ist der Einfluss der WPR und umso deutlicher kann die Energieeinsparung ausfallen.

Bei einer qualitativ hochwertigen Wettervorhersage ist das Potential der Wetterprognose-gestützten Regelung durchaus gegeben. Je nach Anwendung und Anforderung der Ge-bäude sollten sich Gebäudetechnikplaner zumindest in der Vorplanung ihrer Projekte über die Möglichkeit einer Eingliederung der WPR befassen. Eine thermische Gebäudesimula-tion kann fast in jedem Projekt als „Abfallprodukt“ entnommen werden, da diese für Ener-gieausweise, Heiz – und Kühllastuntersuchungen erstellt werden müssen. Somit ist der Aufwand der Planung relativ gering zu dem möglichen, hohen Einsparungspotential.

Literatur

- www.iea.org/publications/freepublications/publication/Building_Codes.pdf,
verfügbar am 12.11.2013 Kapitel 1.1
- www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/wetter, verfügbar am 12.11.2013 Kapitel 1.3.4
- www.meteoviva.com/kennenlernen/leistungen/, verfügbar am 18.07.2013 Kapitel 2.1
- www.Raumluft.org, verfügbar am 18.07.2013 Kapitel 2.2
- www.ee.fs.uni-lj.si/EnergijaInOkolje/vaja2.htm, verfügbar am 29.10.2013 Kapitel 2.2
- www.europeanconcrete.eu/case-studies/office-buildings,
verfügbar am 14.07.2013 Kapitel 2.3
- www.arbeitsinspektion.gv.at/astv/astv.htm#n28, verfügbar am 14.07.2013 Kapitel 3.1
- Allgemeine Ortskrankenkasse in Deutschland, www.aok.de/bayern/presse/presse-presseinformationen-172970.php, verfügbar am 14.07.2013 Kapitel 3.1
- Fa. Neuberger, Dokumentationsunterlagen Ordner 1/2, 2012 Kapitel 4.2.3
- Deutscher Wetterdienst ,
www.dwd.de/bvbw/appmanager, verfügbar am 14.07.2013 Kapitel 5.1
- http://www.cats-software.com/academy/CATS-Academy-Auslegungskriterien_der_thermischen_Behaglichkeit.htm, verfügbar am 23.11.2013 Kapitel 5.2.1.1
- Ernst-Rudolf Schramek: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik,
Oldenbourg Industrieverlag, Dorsten, 2009 Kapitel 5.2.1.1
- VKW Erdgas, <http://www.vkw.at/inhalt/at/3809.htm>,
verfügbar am 23.11.2013 Kapitel 7.1
- http://www.co2-handel.de/article386_16343.html, verfügbar am 7.12.2013 Kapitel 7.1

Anlagen

Temperaturverlauf Produktion MaiA-I

Temperaturverlauf Büro AprilA-II

Anlagen, Temperaturverlauf Produktion Mai

Tabelle 7: 25.Mai Tagestemperaturverlauf ohne WPR

Uhrzeit		Temperaturen		
von Uhr	bis Uhr	t _{außen} °C	t _{Raum} °C	t _{op. Raum} °C
0:00	1:00	10.3	21.4	21.8
1:00	2:00	9.7	21.3	21.5
2:00	3:00	8.1	21.2	21.5
3:00	4:00	6.9	21.1	21.4
4:00	5:00	6.8	21.1	21.3
5:00	6:00	6.4	21.0	21.3
6:00	7:00	7.2	21.4	21.7
7:00	8:00	8.1	21.9	22.0
8:00	9:00	12.2	22.1	22.2
9:00	10:00	12.6	22.4	22.4
10:00	11:00	12.6	22.3	22.4
11:00	12:00	14.6	22.8	22.8
12:00	13:00	15.4	23.0	23.0
13:00	14:00	16.9	22.9	22.8
14:00	15:00	17.5	22.9	22.8
15:00	16:00	17.0	22.8	22.7
16:00	17:00	17.2	22.6	22.6
17:00	18:00	17.2	22.5	22.5
18:00	19:00	17.0	22.1	22.2
19:00	20:00	14.6	21.8	21.9
20:00	21:00	12.0	21.6	21.7
21:00	22:00	11.3	21.5	21.7
22:00	23:00	10.5	21.4	21.6
23:00	24:00	10.3	21.3	21.5

Tabelle 8: 25.Mai Tagestemperaturverlauf mit WPR

Uhrzeit		Temperaturen		
von Uhr	bis Uhr	t _{außen} °C	t _{Raum} °C	t _{op. Raum} °C
0:00	1:00	10.3	21.2	21.4
1:00	2:00	9.7	21.1	21.3
2:00	3:00	8.1	21.0	21.2
3:00	4:00	6.9	20.9	21.1
4:00	5:00	6.8	20.8	21.1
5:00	6:00	6.4	20.8	21.1
6:00	7:00	7.2	21.2	21.4
7:00	8:00	8.1	21.7	21.8
8:00	9:00	12.2	21.9	22.0
9:00	10:00	12.6	22.2	22.2
10:00	11:00	12.6	22.1	22.2
11:00	12:00	14.6	22.6	22.6
12:00	13:00	15.4	22.8	22.8
13:00	14:00	16.9	22.7	22.6
14:00	15:00	17.5	22.6	22.6
15:00	16:00	17.0	22.5	22.5
16:00	17:00	17.2	22.4	22.4
17:00	18:00	17.2	22.2	22.2
18:00	19:00	17.0	21.9	22.0
19:00	20:00	14.6	21.6	21.7
20:00	21:00	12.0	21.3	21.5
21:00	22:00	11.3	21.3	21.4
22:00	23:00	10.5	21.2	21.4
23:00	24:00	10.3	21.1	21.3

Anlagen, Temperaturverlauf Büro April

Tabelle 9: 15.April Tagestemperaturverlauf ohne WPR

Uhrzeit		Temperaturen		
von Uhr	bis Uhr	t _{außen} °C	t _{Raum} °C	t _{op. Raum} °C
0:00	1:00	5.6	19.0	19.1
1:00	2:00	5.2	19.0	19.1
2:00	3:00	4.1	18.9	19.1
3:00	4:00	4.0	18.9	19.0
4:00	5:00	3.6	18.9	19.0
5:00	6:00	3.1	18.8	18.9
6:00	7:00	2.2	18.9	19.0
7:00	8:00	1.3	18.9	19.1
8:00	9:00	3.5	19.5	19.6
9:00	10:00	4.7	19.9	19.9
10:00	11:00	5.9	20.2	20.2
11:00	12:00	7.6	20.4	20.4
12:00	13:00	8.0	19.9	20.0
13:00	14:00	9.4	20.6	20.6
14:00	15:00	9.9	20.5	20.5
15:00	16:00	10.4	20.4	20.4
16:00	17:00	11.7	20.5	20.5
17:00	18:00	11.5	20.2	20.2
18:00	19:00	11.6	19.5	19.6
19:00	20:00	10.7	19.3	19.4
20:00	21:00	8.0	19.3	19.3
21:00	22:00	6.2	19.2	19.3
22:00	23:00	5.3	19.1	19.2
23:00	24:00	5.0	19.1	19.2

Tabelle 10: 15.April Tagestemperaturverlauf mit WPR

Uhrzeit		Temperaturen		
von Uhr	bis Uhr	t _{außen} °C	t _{Raum} °C	t _{op. Raum} °C
0:00	1:00	5.6	18.6	18.7
1:00	2:00	5.2	18.6	18.7
2:00	3:00	4.1	18.5	18.6
3:00	4:00	4.0	18.5	18.6
4:00	5:00	3.6	18.4	18.6
5:00	6:00	3.1	18.4	18.5
6:00	7:00	2.2	18.4	18.6
7:00	8:00	1.3	18.5	18.6
8:00	9:00	3.5	19.1	19.2
9:00	10:00	4.7	19.5	19.5
10:00	11:00	5.9	19.7	19.8
11:00	12:00	7.6	20.0	20.0
12:00	13:00	8.0	19.5	19.6
13:00	14:00	9.4	20.1	20.1
14:00	15:00	9.9	20.1	20.1
15:00	16:00	10.4	19.9	20.0
16:00	17:00	11.7	20.1	20.1
17:00	18:00	11.5	19.7	19.8
18:00	19:00	11.6	19.1	19.2
19:00	20:00	10.7	18.9	19.0
20:00	21:00	8.0	18.8	18.9
21:00	22:00	6.2	18.8	18.9
22:00	23:00	5.3	18.7	18.8
23:00	24:00	5.0	18.7	18.8

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Rum, den 11.12.2013

Milan Obradovic